

Tartu Ülikool  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geoinformaatikas ja kartograafias

**Maanteede kurvilisuse ja liiklusõnnetuste esinemissageduse  
vahelised seosed**

**Anton Štšeglakov**

Juhendajad: PhD Evelyn Uuemaa  
PhD Raivo Aunap

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2014

## Sisukord

Sissejuhatus .....	3
1 Liiklusohutuse seosed teede kurvilisusega .....	6
1.1 Horisontaalne kurvilisus .....	6
1.2 Metoodikad teede horisontaalse kurvilisuse määramiseks .....	10
1.3 Varasemate uurimuste tulemused .....	14
2 Andmed .....	17
3 Metoodika .....	19
3.1 Teede segmenteerimine kilomeetristeks lõikudeks .....	19
3.2 Sinusoidsuse indeks .....	21
3.3 Liiklusõnnetuste arv lõigul ja normeerimine liiklussageduse ning segmendi pikkusega .....	22
4 Tulemused ja arutelu .....	24
4.1 Teede geomeetria .....	24
4.2 Seosed SI ja liiklusõnnetuste vahel .....	26
4.3 Seosed SI ja hukkunudega õnnetuste vahel .....	27
4.4 Seosed SI ja erinevat tüüpi õnnetuste vahel .....	28
4.5 Kurviliste teede ruumiline paiknemine .....	30
4.6 Suurima õnnetuste arvuga teelõikude ruumiline paiknemine .....	31
4.7 Metoodilised probleemid .....	33
4.8 Tähelepanekud ja mõtted edasiste uurimuste tegemiseks .....	33
Kokkuvõte .....	35
Summary .....	37
Tänuavaldused .....	38
Kasutatud kirjanduse loetelu .....	39
a. Ajakirjad ja muud perioodilised väljaanded .....	39
b. Raamatud ja muud monograafiad .....	40
c. Kogumikud ja toimetatud väljaanded .....	40
d. Internetimaterjalid .....	40
Lisad .....	41

## Sissejuhatus

Tänapäeva kiiresti arenevas ühiskonnas sõltuvad inimesed suurel määral transpordist. Vahemaad on pikad ning kõigil on vaja jõuda õigeaegselt oma kohustusi täitma. Eestis on oluliseks nähtuseks omavalitsuste piire ületav elukohta ja töökoha vaheline pendelränne - 2010. aastal tegutses töö, hariduse või teiste toimingutega igapäevaselt vähemalt 380 000 Eesti elanikku väljaspool oma elukohta (Ahas et al. 2010). Transport võimaldab inimestel liikuda, tagab ligipääsu ressurssidele ja aitab kaasa majanduse arengule (Wang et al. 2009).

2011. aasta seisuga oli Eestis 1000 elaniku kohta 428 sõiduauto (Eurostat 2013). Kuigi Eestis saab liikumiseks kasutada paljusid erinevaid transpordivahendeid, nagu bussi-, rongi- ja laevatransport, on Eesti autostumise tase võrdlemisi kõrge. Sõidukite arvukuse tõttu on turvalisuse tagamine teedel keerulisem ning see tõstab liiklusohutuse probleeme. Suurlinnade kiire elutempo sunnib valima kõige kiirema alternatiivi, sest kasutades ühistransporti võib ühest punktist teise liiklemiseks kuluda rohkem aega kui isiklikku sõidukit kasutades. Samuti ei ole ühistranspordiga kõik kohad ligipääsetavad.

Mitmete tegurite mõjul kaasneb tiheda liiklusega ka palju liiklusõnnetusi. Nende põhjuste väljaselgitamine ja ennetamine on kogu maailma institutsioonide eesmärk (Wang et al. 2009). 2013. aastal hukkus liiklusõnnetustes 1,24 mln inimest maailmas (WHO 2013). 20 – 50 mln inimest saavad igal aastal tõsiseid vigastusi (Peden 2005). 2012. aastal toimus Eestis 1383 liiklusõnnetust, milles sai vigastada 1707 ja hukkus 87 inimest (Maanteeamet 2013), mis tähendab, et 100 000 inimese kohta hukkus 7 ning vigastada sai 129 inimest. Hukkunute arv on suur ning igapäevaselt tehakse tööd selle nimel, et vähendada vigastatute ja hukkunute arvu. Selleks kehtestatakse kiiruspiiranguid, parandatakse sõidukite nähtavust teedel, püstitatakse liiklusmärke (Peden 2005), projekteeritakse ja ehitatakse teed nii, et õnnetuste arv nendel oleks võimalikult väike ning et teed oleksid liiklemiseks ohutud (Mohammed 2013).

Liiklusõnnetuste põhjuseid on palju ning läbi viiakse üha rohkem uuringuid, et saada informatsiooni, millisel teguril on suurim mõju ja kuidas parandada liiklusohutust ning vähendada hukkunute arvu. Õnnetusi võivad põhjustada sellised tegurid nagu suur kiirus, halvad ilmastikuolud ja nähtavus, inimfaktorid, aga ka teede geomeetria, mille hulka kuulub ka horisontaalne kurvilisus (Ikeda & Mori 2005; Mohammed 2013).

Kõige rohkem vastutab liiklusohutuse eest autojuht, kes peab valima oludele vastava sõidukiiruse, hoidma piisavat pikivahet teiste sõidukitega, olema puhanud ning adekvaatses seisundis ja liikluseeskirjast kinni pidama. Tee kurvilisus mõjutab oluliselt nähtavust teel ja juhi

käitumist liikluses (Mohammed 2013). Tänapäeva planeerimise põhimõtted püüavad leida lahendusi, kus autojuhil oleks võimalikult kerge keskenduda liiklusohutusele (Antonson 2009).

Tee geomeetria ja disain on tee kuju ja kulgemistrajektor mooda maastikku. See võib olla sirge, horisontaalsete kurvidega ja kõrgusmuutlikkusega. Uuringud on näidanud (Haynes et al. 2007), et liiklusohutust mõjutavad eelkõige sellised tee geomeetrilised tunnused nagu kurvide tihedus teelõigul ning kurvide järskus või laugus. Kurv ehk kõverus on suurus, mis punkti ümbruses iseloomustab joone erinevust sirgest (Kaasik 1982). Varasemate uurimuste tulemusena on selgunud, et kurvidel on kahesugune mõju liiklusohutusele. Hiljuti tehtud analüüsid näitavad, et sirgetel teedel on rohkem õnnetusi (Haynes et al. 2007, 2008), kuid Ikeda & Mori leidsid 2005. aastal, et hoopis kurvlistel teedel on õnnetuse tõenäosus suurem. Autorile teadaolevalt ei ole Eestis veel uurimusi selle kohta, kuidas kurviliisus mõjutab kohalikku liiklusohutust. Selliste uurimuste tegemine on tähtis selleks, et hinnata Eesti teede näitajaid. Kas kohalike teede kurvidel on seos liiklusõnnetustega ning hukkunute arvuga ja kas kurviliisus on kaitsev või ohustav faktor? Sõiduteede planeerimisel tuleb hoolikalt kaaluda, kuidas tee rajada, et see oleks võimalikult ohutu liiklejatele (Ikeda & Mori 2005). Eesmärgiks on liiklejate turvalisus, mille tulemusena toimub Eesti teedel vähem liiklusõnnetusi ja sellest tulenevalt väheneb vigastatute ja hukkunute arv.

Lisaks kurvidel toimuvatele liiklusõnnetustele, juhtub palju õnnetusi ka ristmikel. Linnas toimub ristmikel 50% inimkannatanutega õnnetustest ning linnast väljas 35% (Elvik et al. 2009; Walmsley & Summersgill 1998). Ristmikud on ohtlikud ja keerulised kohad ka jalakäijatele ja ratturitele. Samas ei ole linnaristmike õnnetused nii tõsised kui mujal toimunud õnnetused. See on tingitud väiksemast kehtestatud piirkiirusest. Sirgetel teesegmentidel on lubatud kiirus suurem (Elvik et al. 2009).

Konkreetselt kurvidest tulenevaid õnnetusi saab suures osas ennetada. Selleks on kasutusel erinevad hoiatusmeetmed ning teemärgistused, mis informeerivad juhti kurvide olemasolust ja nende trajektorist (Elvik et al. 2009). Hoiatusmeetmeteks on liiklusmärgid enne kurvi, mis iseloomustavad eesoleva kurvi suunda, pikkust ja ohtlikkust. Lisaks liiklusmärgid, mis määravad ära soovitusliku sõidukiiruse või suurima lubatud kiiruse teelõigul (Elvik et al. 2009). Norras kulub keskmiselt ühe kurvi märgistamiseks liiklusmärkide ja teemärgistusega 35 000 Norra krooni ehk 4213 eurot sõltuvalt sellest, mitu märki on vaja paigaldada (Elvik et al. 2009). Suure maksumuse tõttu on vaja välja selgitada, millised on ohtlikud kurvid ja kus toimub kurvidest tingituna kõige rohkem liiklusõnnetusi. Selle analüüsi tulemusena selgub, kuhu on vaja püstitada liiklusmärke, et maksumuse ja märgist saadava kasu suhe oleks tasakaalus.

Arvestades kõiki hoiatusmeetmeid, mis hoiatavad juhti kurvide ohtlikkuse eest, on välja selgitatud, et liiklusmärkide ja teemärgistuse kasutamine vähendab kõikidel teedel hukkunute arvu liiklusõnnetuses 29% võrra, raskete vigastuste tekke 23% võrra ja kergete vigastuste tekke 16% võrra (Elvik et al. 2009).

Kuigi enda ja teiste liiklejate ohutuse eest vastutab eelkõige autojuht, siis kurvid mõjutavad oluliselt juhi käitumist liikluses. Kurvilistel teedel tuleb valida õige sõidukiirus ning arvestada piiratud nähtavusega. Üldjuhul ei oska kogenematu juht hinnata, kuidas sõiduk kurvides käitub, ning valib olukorrale mittevastavad sõiduvõtted, mis võivad viia liiklusõnnetuseni. Seega on teede kurvilisus oluline teema ning enne konkreetsete ohutusmeetmete kasutamist on vaja välja selgitada, kas Eesti maanteedel on kurvilisus liiklusohutuse seisukohalt probleemiks ning millistes piirkondades ta liiklusõnnetuste põhjustamisel mõjurina osaleb.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida, millised on seosed liiklusõnnetuste ja kurvilisuse vahel Eesti asulavälistel maanteedel ning kuidas mõjutab tee kurvilisus liiklusõnnetuste toimumise tõenäosust, tüüpi ja hukkunutega intsidentide arvu. Varasemad uurimused mujal maailmas on näidanud, et õnnetusi juhtub pigem rohkem sirgetel lõikudel. Kas sama tendents kehtib Eesti teede ja liikluskorralduse puhul?

# **1 Liiklusohutuse seosed teede kurvilisusega**

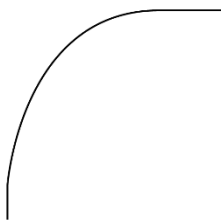
## **1.1 Horisontaalne kurvilisus**

Teede geomeetrilised parameetrid mõjutavad hetkkiirust, keskmist kiirust, hõõrdejõudu, juhi ootusi eesoleva tee suhtes ning nähtavust teedel (Elvik et al. 2009). Kurvi valesti hindamisel võib sõiduki kiirus kurvi läbimiseks olla liiga suur ning sõiduk võib teelt välja sõita (Rautela & Pant 2007). Korduvate keeruliste kurvide läbimine võib kurnata juhti ning väsimuse tulemusena võib ta liikluses rohkem vigu teha (Rautela & Pant 2007). Teede geomeetria võib olla ka järsult muutlik, mille tulemusena võivad juhid samuti ootamatuid vigu teha. Juht peab olema tähelepanelik ning arvestama võimalike sõiduolude muutustega. Kogenud ja oskustega juht oskab muutustega turvaliselt toime tulla (Elvik et al. 2009). Kurvide tõttu on piiratud nägemiskaugus, kui kaugele juht eesolevat teed näeb. See on tingitud taimestikust või muudest tee ääres olevatest objektidest (Elvik et al. 2009).

Kurvid võivad mõjutada liiklusohutust kahel viisil. Esiteks, järskudes kurvides on rohkem liiklusõnnetusi kui lauetel kurvidel ja sirgetel teelõikudel. Samuti on mitmete järskude kurvidega teedel rohkem õnnetusi kui teedel, millel on vähem selliseid kurve (Elvik et al. 2009). Teiseks, mida suurem on järskude kurvide arv teel, seda vähem ootamatud on järgmised sellised kurvid ning seda väiksem on õnnetuse tõenäosus. Juht arvestab selliste kurvidega ning oskab valida õiged sõiduvõtted kurvi läbimiseks (Elvik et al. 2009).

Käesolevas töös käsitletakse horisontaalset kurvilisust, mida kirjeldatakse kurvi raadiuse, pikkuse ja pöördenurgaga (joonis 1) (Elvik et al. 2009). Tee kurvilisust võib defineerida kui kurvide arvu kilomeetri kohta või ühe teelõigu pöördenurkade summana ehk kumulatiivse pöördenurgana.

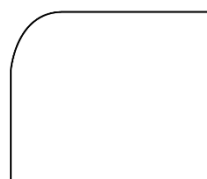
Suure raadiusega kurv



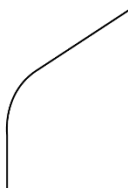
Suure pöördenurgaga kurv



Väikese raadiusega kurv



Väikese pöördenurgaga kurv



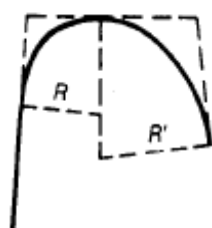
**Joonis 1.** Kurvid raadiuse ja pöördenurga suuruse järgi (Elvik et al. (2009) järgi.).

Kuna reaalne olukord maanteedel on keerulisem, siis jagatakse kurvid nelja klassi (joonis 2):

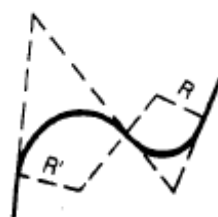
- ringikujuline lihtkurv;
- liitkurv;
- pöördkurv;
- spiraalkurv (Shahin & Mansour 2011).



a) Simple Circular



(b) Compound



(c) Reverse



(d) Spiral

**Joonis 2.** Horisontaalsete kurvide tüübid (Shahin & Mansour 2011).

Igal kurvitüübil on omad iseloomulikud omadused (tabel 1), mida arvestatakse teede projekteerimisel ja ehitamisel.

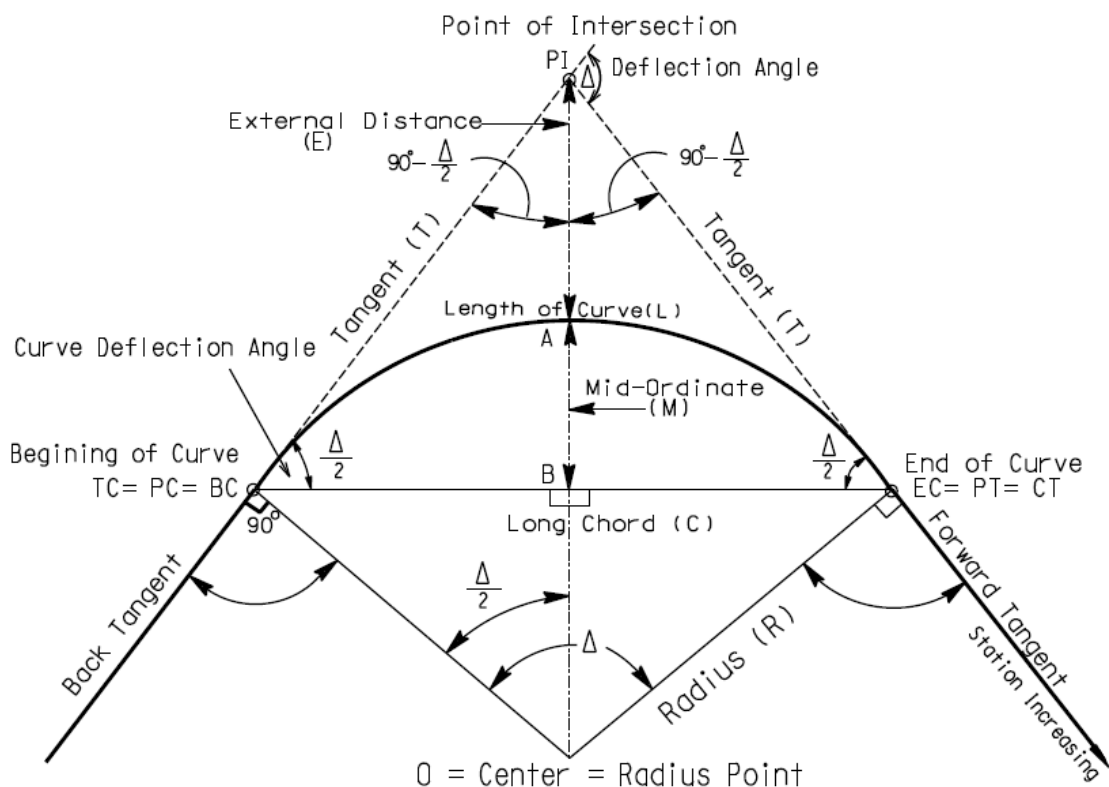
**Tabel 1.** Kurvitüüpide kirjeldus (Shahin & Mansour 2011).

Ringikujuline lihtkurv	Liitkurv	Pöördkurv	Spiraalkurv
Lihtkurv on ringi kaar. Ringi raadius määrab ära, kui järsk või lauge on kurv. Mida suurem ringi raadius $R$ , seda laugem on kurv.	Liitkurv koosneb kahest omavahel liitunud lihtkurvist, mis on samasuunalised. Rajatakse maastiku iseärasuste tõttu.	Pöördkurv koosneb kahest omavahel liitunud lihtkurvist, mille suund on erinev. Teedehitusel kasutatakse harva, kuna teelt väljasõiduohut on suur.	Spiraalkurv on kurv, mille raadius on muutlik.

Lihtkurvil saab määratleda järgmised põhielemendid (joonis 3):

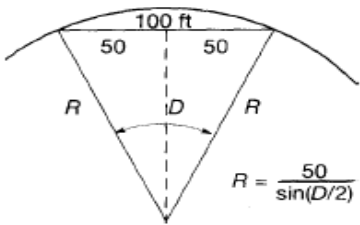
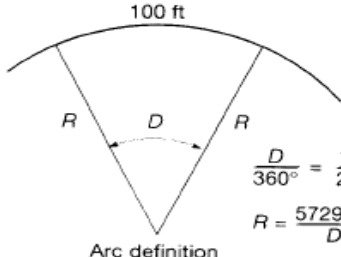
1. PI ehk kurvi puutujate lõikepunkt.
2.  $R$  on kurvi kõverusraadius.
3. PC on kurvi alguspunkt.
4. PT on kurvi lõpp-punkt.
5.  $L$  on kurvi pikkus punktist PC punkti PT mööda kurvi.
6.  $T$  on sirglõigu pikkus punktist PI punkti PC või PT. Lihtkurvi puhul on pikkused samad.
7. Kesknurk  $\Delta$  on nurk, mis on moodustunud ringjoone keskpunktist vastavalt punkti PC või PT kahe tõmmatud raadiuse vahele.
8.  $C$  on pikk kõõl punktist PC punkti PT.
9.  $E$  on kaugus punktist PI kurvi keskpunktini.
10. Kesk-ordinaat  $M$  on kaugus kurvi keskpunkti ja kõõlu  $C$  vahel. Kesk-ordinaadi pikendus poolitab kesknurga.
11. Kurvi  $n$ -kraadi nurk  $D$  määrab ära, kas kurv on järsk või lauge (joonisel 3 on  $D$  sama, mis kesknurk  $\Delta$ ). Kurvi  $n$ -kraadi nurgal on kaks definitsiooni (tabel 2).





**Joonis 3.** Lihtkurvi põhielemendid (Shahin & Mansour 2011).

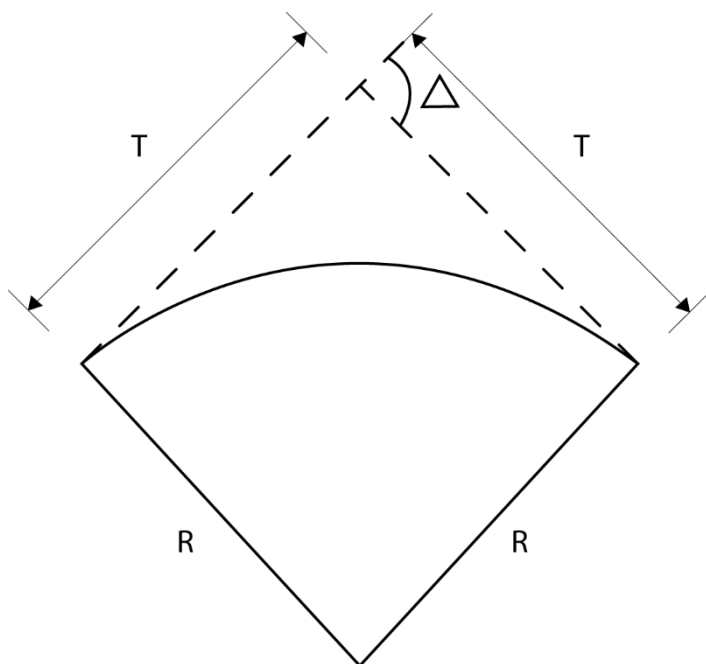
**Tabel 2.** Kurvi  $n$ -nurka definitsioonid ning valemid arvutamiseks (Shahin & Mansour 2011).

Kõõlu definitsioon	Kaare definitsioon
Kurvi $n$ -kraadi nurk on nurk, mis tekib kahe raadiuse tõmbamisel ringjoone keskpunktist kõõlu otspunktidesse.	Kurvi $n$ -kraadi nurk on nurk, mis tekib kahe raadiuse tõmbamisel ringjoone keskpunktist kurvi kaare otspunktidesse.
$\sin\left(\frac{D}{2}\right) = \frac{50 \text{ ft}}{R}$  $R = \frac{50}{\sin(D/2)}$	$D = \frac{(360^\circ)(100 \text{ ft})}{2\pi R} = \frac{5729.58^\circ}{R}$  $\frac{D}{360^\circ} = \frac{100}{2\pi R}$ $R = \frac{5729.58}{D}$ <p>Arc definition</p>

Mida suurem on kurvi raadius, seda laugem on kurv ning vastupidi.

Tabelis 2 on kõõlu ja kurvikaare pikkuseks võetud 100 jalga, mis on 30.48 m.

Oluline näitaja kurvilisuse parameetrites on pöördenurk (*deflection angle*). See on kurvi puutejoontevaheline nurk (joonis 4).



**Joonis 4.** Pöördenurk  $\Delta$  (Shahin & Mansour (2011) järgi).

## 1.2 Metoodikad teede horisontaalse kurvilisuse määramiseks

Varasemate uurimuste käigus on leitud, et horisontaalsed kurvid avaldavad liiklusohutusele erinevat mõju (Wang et al. 2013). Mõne uurimuse tulemusena selgus, et kurvilisus põhjustab liiklusõnnetuste kasvu, kuid hilisemad tööd on pigem näidanud, et kurvilistel teedel on hoopis väiksem õnnetuste arv. Tulemused võivad sõltuda mitmest tegurist. Esiteks võib see tuleneda erinevatest metoodikatest, mida on kurvilisuse määratlemisel kasutatud, ning nende metoodikate rakendamisest erineval ruumilisel ulatusel (Wang et al. 2013). Samuti on igal piirkonnal oma iseloomulik geograafia ning lokaalne liikluskultuur. Uurimuste tulemused võivad piirkonniti erineda ning seetõttu tuleks uurida kurvilisuse mõju erinevates piirkondades eraldi.

Haynesi et al. (2007) töös kasutati analüüsiks GISi võimalusi, et defineerida Walesi ja Inglismaa erinevate piirkondade teede käänulisust kohaliku andmestiku põhjal. Töö käigus defineeriti järgmised kurvilisust iseloomustavad näitajad, mis võiksid avaldada mõju õnnetuste arvule:

- kurvide arv kilomeetri kohta;
- tegeliku teepikkuse suhe sirgesse teelõiku;
- sirgete teelõikude osakaal;
- kumulatiivne pöördenurk kilomeetri kohta;

- keskmine pöördenuk kurvi kohta (Haynes et al. 2007).

Selleks, et leida kurvide arv ühe kilomeetri kohta, jagati kurvide arv lõigul teelõigu pikkusega. Tegelikult teepikkuse suhe sirgesse teelõiku on olemuselt sama, mis sinusoidsuse indeks, mida on selgitatud käesolevas peatükis Rautela & Panti (2007) töö all, kuid Haynesi et al. töös leiti keskmine SI väärtus kõigi rajooni teede, mitte kilomeetriste lõikude kohta. Sirgete teelõikude osakaalu leidmiseks jagati kindla rajooni sirgete teelõikude pikkus sama rajooni kõigi teede pikkusega. Kumulatiivne pöördenuk oli kõigi pöördenukade summa kraadides kilomeetrise lõigu kohta. Keskmise pöördenuka leidmiseks jagati rajooni kõigi pöördenukade summa kurvide arvuga.

Uurimuses arvestati keskmise ööpäevase liiklustihedusega ning paljude teiste õnnetusi mõjutavate teguritega, nagu riskigruppi kuuluvate elanike arv, autode arv elaniku kohta, linna läbivate ja vähetähtsate teede osakaal teede kogupikkusest ja materiaalses puuduses elava rahvastiku osakaal. Kõik eelnevad näitajad kehtisid konkreetse vaatlusaluse piirkonna ehk rajooni kohta. Riskigrupid olid koostatud vanuse ja soo järgi ning gruppide aluseks oli eelnevate aastate liiklusõnnetuste statistika. Tulemuseni jõudmiseks kasutati erinevaid statistilise analüüsi meetodeid. (Haynes et al. 2007)

Sarnast metoodikat, mis puudutab kurvilisuse defineerimist, nagu Haynesi et al. töös 2007. aastal, on kasutanud ka Jones et al. (2008, 2011) ja Haynes et al. (2008) ning leidsid, et kurvistel teedel on vähem õnnetusi kui sirgetel teedel. Jones et al. (2011) ja Haynes et al. (2008) ei kasutanud sirgete teelõikude osakaalu näitajat. Wang et al. (2009) kasutasid Haynesi et al. (2007) tööst ühte näitajat, milleks oli kurvide arv kilomeetri kohta.

Waters & O'Mahony (2007) kasutasid oma töös AutoCAD formaadis digitaalkaarte, mis olid paberkaartide põhjal digitaliseeritud. Valminud kaartide täpsust ei saanud saajaprotsendiliselt usaldada. Kuna digitaalkaardid sisaldasid ka muud andmestikku, siis teeservad ja telgjoon eraldati muust informatsioonist. Tee telgjoon langes servjoonte keskele, kuid selline telje määratlus oli tehtud graafiliselt ning võis seetõttu olla väär.

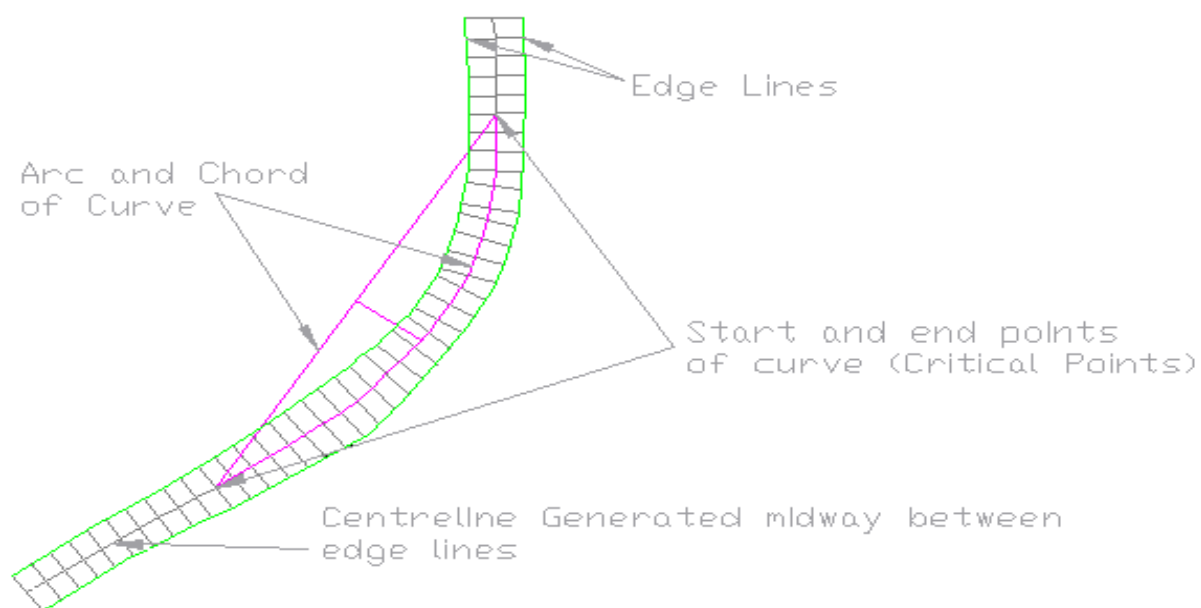
Esmalt leiti kurvide algus- ja lõpupunktid. Selleks tõmmati ristjooned teeservade vahele iga 5 meetri järel (joonis 5). Ristjoonte keskpunktid ühendati ning tulemuseks oli uus teed tähistav telgjoon (Hashim & Bird 2004, cit. Waters & O'Mahony 2007). Kasutades ristjoonte keskpunkte, mis olid Karteesia koordinaatides x ja y, arvutati välja telgjoone iga väikese lõigu pikkus. Iga teelõigu suund arvutati välja järgmise valemiga:

$$\text{Suund} = (y_i - y_{i+1}) / (x_i - x_{i+1})$$

Suund arvutati järjestikku olevatele teelõikudele ning seda kasutati kurvi algus- ja lõpp-punkti määramiseks. Kui vähemalt neli järjestikku paiknevat lõiku on samasuunalised, siis on tegu kurvi või sirglõiguga. Viimasega on tegu juhul, kui arvutuse tulemusena on neli järjestikku paiknevat lõiku võrdsed. Kui iga järgneva lõigu valemiarvutuse tulemus on eelmise lõigu tulemusest suurem, on tegu vasakkurviga (joonis 5), kui väiksem siis paremkurviga (Waters & O'Mahony 2007). Kui vähemalt neli lõiku on võrdsed, siis punkt, kus suund muutub, on eelmise suunatreendi lõpp-punktiks ja järgmise alguspunktiks.

Kui algus- ja lõpp-punktid olid leitud, arvutati kurvi või sirglõigu pikkused. Lisaks pikkustele arvutati igale kurvile välja selle raadius ja kõrvalekaldenurk. Pikkuse ja raadiuse leidmiseks kasutati elementaargeomeetria arvutusi (Waters & O'Mahony 2007). Iga kurv, mille raadius oli üle 1000 m, liigitati sirglõiguks (inglise keeles *tangent*). Kõrvalekaldenurk arvutati järgmise valemiga, kus DA - *deflection angle* ehk kõrvalekaldenurk ning R - kurvi raadius:

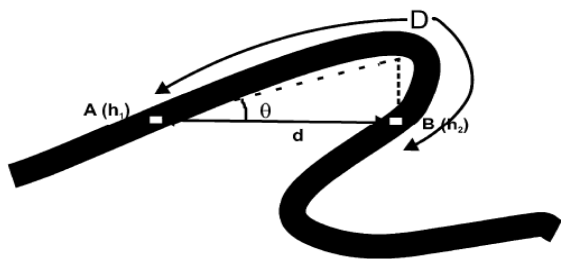
$$DA = (\text{Kurvi pikkus} / R) * (180 / \pi)$$



**Joonis 5.** Kurvi algus- ja lõpupunkti määramine (Waters & O'Mahony 2007).

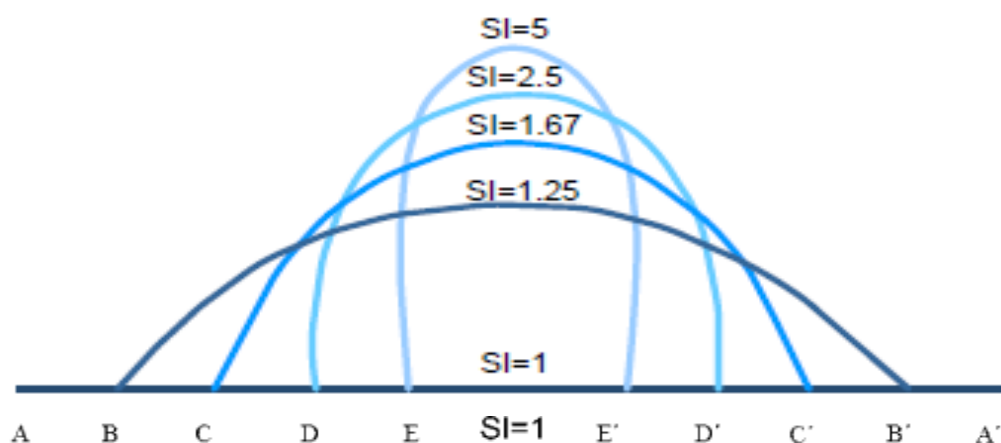
Rautela & Pant (2007) uurisid teede kurvilisust mägistes piirkondades *sinuosity indexi* (SI) ehk sinusoidsuse indeksi abil, sest see oli lihtsasti arvutatav ning olemuselt uurimuse eesmärgile sobilik suurus. SI on teelõigu tegeliku pikkuse ja sama teelõigu lühima pikkuse suhe (joonis 6) (Rautela & Pant 2007). Indeks arvutati järgmise valemiga:

$$SI = D/d$$



**Joonis 6.** SI olemus, kus algus- ja lõpp-punkti vaheline lühim kaugus on  $d$  ning tegelik kaugus mööda teed on  $D$ . Lõigu  $D$  algus- ja lõpp-punkti suhtelised kõrgused on  $h_1$  ja  $h_2$  (Rautela & Pant 2007).

Teed segmenteeriti 500 meetristeks lõikudeks ning iga sellise lõigu kohta arvutati välja SI (500m / punktide vaheline kaugus linnulennult). Sirge teelõigu SI väärtus on 1 ning mida suurem on kurvide arv teel, seda suurem on ka SI väärtus. Ühepikkuste teelõikude SI väärtus suureneb, kui algus- ja lõpp-punktide omavaheline kaugus linnulennult väheneb ( $A-A'$ ,  $B-B'$ ,  $C-C'$ ) (joonis 7) (Rautela & Pant 2007).



**Joonis 7.** Sinusoidsuse indeksi (SI) skeem, mis kujutab indeksi väärtuse suurenemist võrdeliselt kurvilisuse suurenemisega (Rautela & Pant (2007) ning O'Connor (2011) järgi).

Arvutatud SI väärtuste alusel jagati teed kolme klassi: madal, mõõdukas ja kõrge (tabel 3).

**Tabel 3.** SI väärtuste klassid (Rautela & Pant 2007).

SI klass	Madal	Mõõdukas	Kõrge
SI väärtus	1–1,2	1,2–1,7	>1,7

Sinusoidsuse indeksit kurvilisuse määramiseks kasutas oma töös ka O'Connor (2011), kus SI oli arvutatud kilomeetriste lõikude kohta.

Andmed teede geomeetriliste parameetrite kohta puuduvad ning nende arvutamine kogu teedevõrgu jaoks oleks väga kulukas ja ajamahukas. Seetõttu on otstarbekas alustada teede kurvilisust puudutavaid uurimusi lihtsamatest meetoditest, mis on teostatavad kättesaadavate ja lihtsate töövahenditega. Lisaks lihtsusele, on otstarbekas kasutada SI-d, kuna selle väärtus sõltub kurvide arvust ja pöördenukust. Mitme näitajaga korraga arvestamine annab üldisema ülevaate seosest õnnetuste ja tee kurvilisuse vahel.

### **1.3 Varasemate uurimuste tulemused**

Autorile teadaolevalt ei ole Eestis varem uuritud teede geomeetriliste parameetrite mõju liiklusõnnetustele, kuid seda on tehtud Ameerika Ühendriikides Washingtoni osariigis (Shankar et al. 1995, 1996), Inglismaal (Haynes et al. 2007; Wang, et al. 2009) ja mujal (Haynes et al. 2008; Ikeda & Mori 2005).

Haynesi et al. (2007) töö eesmärk oli leida seos kurvilisuse ja liiklusõnnetuste vahel Inglismaal ning uurimuse hüpotees oli järgmine: liiklusõnnetuse tõenäosus on suurem siis, kui kõverusi on rohkem ja kurvid on järsemad. Kõige täpsemaks näitajaks osutus kumulatiivne pöördenuk, kuna see ei olnud mõjutatud sellest, et teed on piirkondade lõikes erinevas mõõtkavas digitaliseeritud. Erinev mõõtkava mõjutab andmete täpsust. Liiga väikese mõõtkavaga teede digitaliseerimisel võivad andmed muutuda reaalsusega võrreldes ebatäpseks (Haynes et al. 2007).

Suurendades kumulatiivset pöördenuka ühe kraadi võrra kilomeetri kohta, väheneb hukkunutega liiklusõnnetuste arv 0,57%, tõsiste liiklusõnnetuste arv 0,71% ja kergete liiklusintsidentide arv 0,51% võrra. See seaduspära kehtib, kui kõik teised tegurid jäävad konstantseteks. Uurimuse tulemusena selgus, et liiklusõnnetusi toimub rohkem kõige sirgematel teedel ning õnnetuste arv väheneb pöördenuka suurenedes. Teede looklevus on kaitsev tegur, mis vähendab liiklusõnnetuste toimumise tõenäosust (Haynes et al. 2007). Kurvilisus osutus kaitsvaks faktoriks ka Haynesi et al. (2008), Jonesi et al. (2008, 2011) ning Wangi et al. (2009) uurimustes. Üksluistel teedel liigeldes kipuvad juhid kiiremini väsimiseks muutuma. Järsud maastikumuutused vähendavad unisust ja suurendavad keskendumisvõimet (Thiffault & Bergeron 2003).

Kui juht sõidab looklevatel teedel, siis häälestub ta järgnevateks võimalikeks tee kõverusteks. Ta arvestab sellega, et teel võib esineda veelgi kurve (Elvik et al. 2009). Kui sõidutee on enamasti sirge, siis mitte alati ei arvesta juht sellega, et ilmuda võib järsk kurv. Ootamatuse tõttu ei suuda ta õigeaegselt reageerida ning võib teelt välja sõita või põhjustada liiklusohutliku olukorra. Kurvilistel teedel on suurem tõenäosus, et juht arvestab edaspidise käänulise trajektooriga rohkem ja kohandab oma sõiduvõtteid ettevaatlikumaks (Elvik et al. 2009). Enne kurvi vähendab juht sõiduki kiirust, suurendab oma valvelolekut ning ei võta vastu riskantseid otsuseid sõiduki juhtimise osas (Haynes et al. 2008). Rohkem liiklusõnnetusi toimub järskude kurvidega teedel, mis on vähelooklevad, ning vähem õnnetusi käänulistel teedel (Elvik & Muskaug 1994, cit. Elvik et al. 2009). Õnnetuste arv ootamatute kurvide korral on kolm korda suurem, kui 10 kilomeetri kohta on selliseid kurve viis või vähem. Selline seaduspärasus kehtib, kui seda võrrelda teega, kus selliseid kurve 10 kilomeetri kohta on 7,5 või rohkem (Elvik et al, 2009). Peaaegu kõik õnnetused, mis toimuvad kurvides, on teelt väljasõidud või vastutuleva sõidukiga kokkupõrked (Elvik & Muskaug 1994, cit. Elvik et al. 2009 ).

Ikeda & Mori (2005) sõnul mõjutavad tee kuju, looklevus, trajektoor ja teised karakteristikud oluliselt juhti ning tema käitumist liikluses. Kui palju peab olema kurve, kui järsud nad on ning milline on nähtavus nende läbimisel? Teatud maastikel on võimatu rajada absoluutselt sirget teed ning see ei ole ka otstarbekas liiklusohutuse seisukohalt. Üksluised teed teevad autojuhi uniseks ning hajutavad tähelepanu, kuid järsud maastikumuutused hoiavad juhti ärkvel (Thiffault & Bergeron 2003). Samas ei tohiks teed olla ka liiga kurvilised, kuna suureneb teepikkus, materjalikulu ehituseks ning ühest sihtpunktist teise kohale jõudmiseks kuluv aeg. Kurvides vähendab juht sõiduki kiirust ohutuse eesmärgil ning see tähendab lisanduvat ajakulu (Haynes et al. 2008).

Ikeda & Mori (2005) uurimus näitas, et kurvi raadiuse vähenemisel kasvab õnnetuste tõenäosus, kuid alates teatud raadiusest, isegi selle suurenemisel, hoopiski kasvab õnnetuste tõenäosus. Uuringu tulemusena selgus ka järgmine seaduspärasus: mida järsem on kurv, seda suurem on õnnetuse tõenäosus, mille põhjustab sõiduki kõrvalekaldumine oma sõidurajast. Sõiduk kaldub oma rajast kõrvale tsentrifugaaljõu tõttu. Teede rajamisel tuleks vältida väikese raadiusega kurvide rajamist, kus sõidukile mõjuv tsentrifugaaljõud on suurem ja kõrvalekalle oma sõidurajast tõenäolisem (Ikeda & Mori 2005).

Tulemused sõltuvad suuremal määral sellest, millises mõõtkavas on teedevõrk digitaliseeritud GISi andmebaasi. Erinevas mõõtkavas olevaid teedevõrgustikke ei tohiks võrrelda. Kasutades

digitaliseerimisel väikest mõõtkava, võivad tulemused olla reaalsusega võrreldes ebatäpsed. Näiteks kurvid muutuvad laugemaks ning väga lauged kurvid võivad kaduda ning arvesse minna sirgete teelõikudena. Selle tulemusena on päringud ebatäpsed ning info ebausaldusväärne (Jones et al. 2011). Eeltoodud uurimustel on omad tugevused ja nõrkused. Kõiki tegureid ei saa ühel ja samal ajal arvesse võtta ja võrrelda, et saavutada soovitud tulemusi.

Jonesi et al. (2011) uurimuse tugevateks külgedeks on detailne ülevaade liiklusõnnetustest ja nende asukohtadest ning mitmete kurvilisuse näitajate defineerimine, kasutades geoinfosüsteeme. Nõrkusteks on puudulik informatsioon kiiruste kohta, mille tõttu ei saanud analüüsida kurvilisuse ja kiiruse vahel kehtivat seost ning mõju liiklusõnnetuste toimumise tõenäosusele.

Uurimuste tulemusena võib liiklejat ümbritsev keskkond olla ohtlik ühest vaatepunktist, kuid teistest vaatepunktist hoopis kaitsev faktor. Tehtud uurimuste põhjal tuleb teha kindlaks, kust läheb piir eelnevalt nimetatud näitajate vahel. Edaspidi tuleb uurida, miks on osades kurvides rohkem õnnetusi, ning seejärel tuleb uurimustesse hõlmata ka üldine teedevõrk. Teede planeeringuid tehes tuleb arvestada nende uurimuste tulemusi ja järeldusi, et tõsta liiklusohutust ning vähendada hukkunute arvu teedel (Haynes et al. 2007).



## 2 Andmed

Käesoleva töö andmestik on pärit projektist „Tark Tee“ ning digitaalsel kujul saadud Maanteeametist. Teede ruumikuju täpsuseks on Eesti Põhikaardi täpsus, kuna tee teljejoon on põhikaardi joon (Ingermaa 2014). Andmestik koosneb kahest andmekihist, milleks on liiklusloendus ja liiklusõnnetused. Liiklusloenduse puhul on tegemist joonobjektidega ning liiklusõnnetused on märgitud punktobjektidena. Nii liiklusloenduse kui ka liiklusõnnetuste kiht ei sisalda informatsiooni linnateede kohta. Asulate teed ja nendel toimunud õnnetused puuduvad.

Liiklusõnnetuste andmestik on kogutud alates 2000. aastast kuni 2012. aastani. Kokku on õnnetusi 16 815 ning need on fikseeritud politseiametnike poolt (Ingermaa 2014). Kuna iga õnnetusega ei kaasne politsei väljakutset, siis õnnetuste tegelik arv ja neid puudutav informatsioon ei ole teada. Õnnetuste asukoht on pooltel juhtudel ära määratletud ristkoordinaatidega X ja Y. Ülejäänud õnnetused on kantud kaardile, kuid X ja Y koordinaate ei ole algtabelis defineeritud. Üheksal õnnetuskohal on vigased koordinaadid, mis põhjustavad selle, et õnnetust tähistavad punktid on Eesti territooriumilt väljas või ei kuulu ühegi konkreetse tee juurde.

Õnnetuste punktid ei paikne täpselt liiklusloenduse joonobjekti peal, vaid asetsevad tee telgjoone vahetus läheduses. Õnnetuste positsioneerimisel on võimalik viga kuni 100 meetrit (Ingermaa 2014). Iga punkti kohta on teada tee number ja nimetus, kus toimus liiklusintsident. Töös kasutati kõiki õnnetusi. Eraldi vaadeldi hukkunutega liiklusintsidente ning lisaks kolme tüüpi õnnetusi, milleks olid:

- kokkupõrge vastutuleva mootorsõidukiga;
- sõiduki teelt väljasõit;
- sõiduki ümberpaiskumine teel.

Andmestikus oli 120 õnnetust, millel puudusid õnnetuse tüüpi puudutavad andmed, mille tõttu ei ole võimalik intsidendi tüüpi tuvastada.

Liiklusloenduse kiht koosneb teede joonobjektidest. Kihi andmeid on kirjeldatud ristmikust ristmikuni ning võimalik viga on ristmiku enda aadressi mõõtmise viga, mis võib olla kuni 10 meetrit (Ingermaa 2014).

Liiklusloenduse andmetabelist saadi liikluskoormus. Tabelis oli 113 teelõiku, mille liikluskoormus on loendatud 1911. aastal, mis võib olla andmesisestaja näpuviga, kuna ülejäänud liiklusloenduse andmed olid kogutud aastatel 1998 – 2011. Nendel 113 teelõigul, vaatamata loendusaastale, tundub olevat loogiline ööpäevane liikluskoormus, mis jääb vahemikku 10 – 4268 sõidukit ööpäevas. Võimalik, et 1911. aasta asemel peaks olema 2011. Kogu loenduse liikluskoormus on 1 – 29034 sõidukit ööpäevas.

Teelõigud ei ole algselt täies pikkuses digitud, vaid koosnevad mitmetest sama teenumbriga lõikudest, mistõttu on liiklusloenduse kihis 3936 välja. Joonobjektides esineb ka vigu. Näiteks leidub tee number ühel üks 99-meetrine lõik Narva linna sillal, mis on Tallinn-Narva maanteest kolm kilomeetrit eemal.

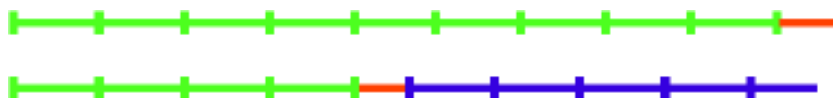
### 3 Metoodika

Käesoleva töö metoodika koosneb teede kilomeetristeks lõikudeks segmenteerimisest, lõikudele sinusoidsuse indeksi välja arvutamisest, õnnetuste arvu ja statistiliste seoste leidmisest. Esimese kolme puhul kasutati ArcMap (versioon 10.0) programmi ning selle võimalusi ja päringuid. Statistiliseks analüüsiks kasutati Statistica programmi.

#### 3.1 Teede segmenteerimine kilomeetristeks lõikudeks

Esmalt segmenteeritakse teed kilomeetri pikkusteks lõikudeks. Maanteel sõites on kilomeeter loogiline optimaalne kaugus, mida juht on võimeline analüüsima ning sellest tulenevalt korregeerib ta olukorrale vastavalt oma sõiduvõtteid. Kuna tegu on kogu Eestit hõlmava uurimusega, siis nii suure andmehulga töötlemiseks tuleb andmeid mõnevõrra lihtsustada ning väga lühikesi lõike ei ole otstarbekas kasutada. Ka varasemates uurimustes on kasutatud just kilomeetriseid lõike (Haynes et al. 2007; Haynes et al. 2008; Shankar et al. 1995, 1996).

Esmalt ühendati mitmed teelõigud teenumbri alusel üheks pikaks lõiguks (kasutades ArcMap töövahendeid *dissolve* ning seejärel *multipart to singlepart*). Näiteks kui algandmetes koosnes Tallinn-Narva maantee 29st lõigust, siis ühendamise tulemusena ühendati 29 lõiku üheks objektiks. See on vajalik selleks, et kilomeetristeks lõikudeks segmenteerimisel algaks iga uus lõik eelmise lõigu lõpp-punktist. Nii praktiliselt ei teki selliseid lõike, mis oleksid kilomeetrist oluliselt lühemad. Ühe objekti puhul võivad lühemad lõigud tekkida vaid juhul, kui tee täpselt kilomeetristeks lõikudeks ei jagu. Sel juhul jääb lühem segment tee lõppu. Joonisel 8 on ülemine joon ühendatud objekt (*singlepart*) ning alumine joon kahest lõigust koosnev objekt. Alumisel joonel on näha, et esimene lõik (roheline) täpselt kilomeetristeks segmentideks ei jagu ning selle lõigu viimane segment tuleb lühem. Punasega on tähistatud kilomeetrist lühemad lõigud, mis võisid tekkida segmenteerimisel.



**Joonis 8.** Üksikobjekti segmenteerimine ja kahe lõigu segmenteerimine.

Segmentide saamiseks kasutati töövahendit *Create Random Points*, mis tekitas liiklusloenduse kihi joonobjektidele punktid võimalikult kilomeetrise vahega. Seejärel lõigati joonobjekte eelnevalt tekitatud punktides, et tekiksid kilomeetrised teesegmendid (kasutades *Split Line At Point* töövahendit). Teedevõrgu keerukuse ning ristmike tõttu ei paigutunud kõik punktid ühtlaselt kilomeetriste vahedega. Selle tõttu tekkisid ka mõned kilomeetrist lühemad ning

pikemad lõigud. Lühemad lõigud tekkisid enamjaolt ristmikele, kus teedevõrk on keerulisem ja sellest tulenevalt paigutusid punktid tihedamalt kui kilomeetriste vahedega.

Kuna ristmikel toimub suur osa õnnetustest (Elvik et al. 2009; Walmsley & Summersgill 1998), siis otsustati need sellest tööst välja jätta ning keskenduda eelkõige tee kurvilisusest tingitud õnnetustele. Ristmike eemaldamiseks lõigati teed nende lõikumispunktides katki töövahendi *Feature To Line* abil ning tulemuseks olid ristmikupunktid. Lisaks ristmikele tekkisid punktid ka rippuvatele teotestele. Need jäeti alles, kuna ripuvad otsad võivad endast kujutada ristmikusarnast olukorda, milleks on näiteks sissesõit hoovi või tee pealesõidu koht.

Järgmiseks genereeriti ristmikupunktidele puhvrid 100 meetri raadiuses. 100-meetrine puhver sai valitud järgmistel põhjustel: kui sõita maanteel kiirusega 90 kilomeetrit tunnis ning märgates ohtu, kulub sõiduki peatamiseks halvimal juhul 160 meetrit (Bureau of Local Roads and Streets Manual 2006). See on vahemaa, mida läbib sõiduk senikaua, kuni juht reageerib ning vajutab piduripedaalile ja teepikkus, mis kulub sõiduki peatamiseks pidurdamisel. Juhi reaktsiooniajaks on antud juhul 2,5 sekundit ning 90 km/h sõitev sõiduk läbib selle aja jooksul 62,6 meetrit. Pidurdustee pikkuseks on arvestatud 92,9 meetrit, kui sõiduki kiirus väheneb  $3,4 \text{ m/s}^2$  (Bureau of Local Roads and Streets Manual 2006). Ideaalsetel tingimustel, milleks on kuiv asfalttee ning kvaliteetsed suure mustri jääksügavusega rehvid, on peatumistee pikkused kiirustel 90 ja 120 km/h vastavalt 69,6 ja 112,7 meetrit (tabel 4). Antud juhul on juhi reaktsiooniajaks üks sekund, mis eeldab, et juht on sõidukogemustega ja välja puhanud seisundis.

**Tabel 4.** Sõiduki peatumistee pikkus kuival asfaltteel

(<http://stereo2121.com/nebulos/autokool/autokool-pdf/Pidurdustee.pdf>).

Kiirus (km/h)	Kiirus (m/s)	Reageerimistee (meetrit)	Pidurdustee (meetrit)	Peatumistee (meetrit)
90	25,0	25,0	44,6	69,6
120	33,3	33,3	79,4	112,7

Peatumistee sõltub paljudest teguritest ning seetõttu valiti puhvri suuruseks optimaalsed 100 meetrit.

Kuna puhvri raadius kehtib teede ristumispunktist mõlemale poole, siis kokkuvõttes eemaldatakse ristmikud 200 meetri ulatuses.

Ristmikupunktide eemaldamiseks lõigati segmentide kihist puhvrid välja (*Erase Tool*). Tulemuseks võimalikult kilomeetrised segmendid ristmiketa.

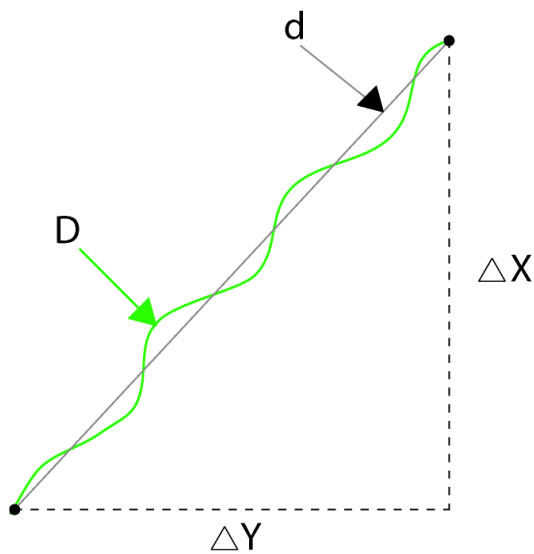
### 3.2 Sinusoidsuse indeks

Kurvilisuse määramisel kasutati käesolevas töös sinusoidsuse indeksit (SI) (vt. ptk 1.2). Kuna Eesti teede kohta ei ole teadaolevalt välja töötatud algoritme, mis iseloomustaksid kurvilisust, siis otsustati kasutada SI-d kui lihtsasti ja kiiresti arvutatavat suurust. SI on üldistus, milline võib kilomeetrise teelõigu kurvilisus olla. SI sõltub korraga mitmest tee geomeetrisest parameetrist, milleks on kurvide arv lõigul ja nende kumulatiivne pöördenurk. Mõlema eelnevalt nimetatud väärtuse suurenemisel kasvab ka SI väärtus ning seetõttu on seda hea kasutada üldiste seoste leidmisel. Teadaolevalt ei ole kurvilisuse mõju Eesti teedel varasemalt uuritud ning seda tuleks teha alustades lihtsamatest meetodikatest ja kasutades kättesaadavaid töövahendeid.

Kuna igal segmendil on olemas algus- ja lõpp-punkti ristkoordinaadid X ja Y, sai Pythagorase teoreemi kasutades välja arvutada lühima kauguse segmendi algus- ja lõpp-punkti vahel (joonis 9).

SI arvutamiseks kasutati järgmist valemit:

$$SI = D/d$$



**Joonis 9.** Sinusoidsuse indeksi arvutamine Pythagorase teoreemiga, kus D on lõigu tõeline pikkus ning d lühim kaugus segmendi algus- ja lõpppunkti vahel.

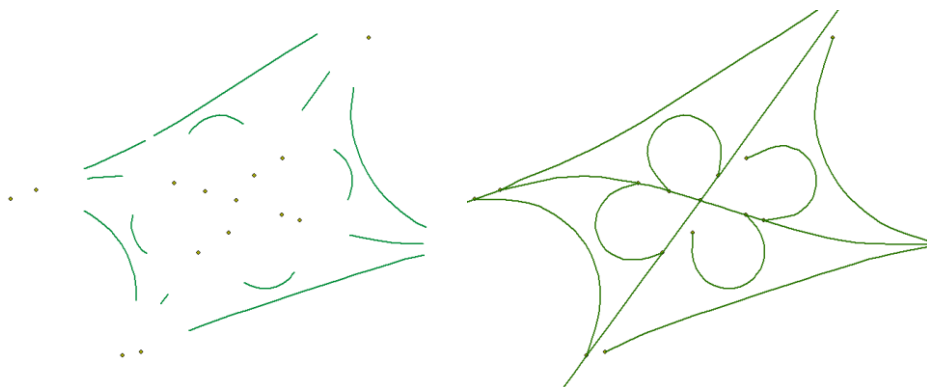
Tulemuseks saadi igale segmendile tema SI väärtus.

### 3.3 Liiklusõnnetuste arv lõigul ja normeerimine liiklussageduse ning segmenti pikkusega

Selleks, et saada liiklusõnnetuste arv lõigu kohta, liideti segmentide atribuutide tabelile liiklusõnnetuste tabel nii, et igal segmentil oleks õnnetuste arv, mis sellel lõigul toimunud on. Lisaks üldarvule leiti teatud tüüpi liiklusõnnetuste arv lõigul, mille toimumise tõenäosus on suurem kurvides. Tüübid olid järgmised: kokkupõrge vastutuleva mootorsõidukiga, sõiduki teelt väljasõit ja sõiduki ümberpaiskumine teel. Need õnnetuste tüübid võiksid olla kõige rohkem seotud kurvilisusega, millest on tingitud piiratud nähtavus teedel (Haynes et al. 2007). Varasematest uurimustest selgus, et peaaegu kõik kurvides toimuvad õnnetused on sõiduki teelt väljasõidud või kokkupõrked teiste sõidukitega (Elvik & Muskaug 1994, cit. Elvik et al. 2009). Kõige lõpuks leiti ka hukkunutega liiklusõnnetuste arv, et hinnata, kas kurvilistel teedel toimunud õnnetused on tõsisemad või mitte.

Suurema liikluskoormusega teedel liikleb rohkem sõidukeid ja sellest tulenevalt on suurem ka õnnetuse tõenäosus. Selleks, et tulemused ei oleks mõjutatud sõidukite arvust, normeeriti liiklusõnnetuste arv aasta keskmise ööpäevase liikluskoormusega. Tulemus normeeriti omakorda lõigu pikkusega ning korrutati läbi konstandiga 1000, sest vastasel juhul jääksid väärtused liiga väikeseks ja analüüsimine muutuks ebamugavaks.

*Create Random Points* töövahend tekitas küll võimalikult kilomeetriste vahedega punktid, kuid teedevõrgu keerukuse ja ristmike tõttu paigutusid mõned punktid liiga lähestikku. Seetõttu on väike osa segmente väikese pikkusega (alates 0,1st meetrist). Samuti tekkisid ristmike eemaldamisel mõned lühikesed lõigud, mis 100 meetri puhvrist välja jäid (joonis 10). Joonisel olevad punktid on ristmikupunktid ning vasakpoolne joonis on eemaldatud ning parempoolne eemaldamata ristmikega.



**Joonis 10.** Eemaldatud ja eemaldamata ristmikega teed.

Lõigu pikkusega normeerimise tulemusena olid lühikesed lõigud liiga suure kaaluga ning seetõttu otsustati kuni 100 meetri pikkused segmendid uurimusest välja jätta. Nad moodustasid lõikude koguarvust ligikaudu 11%. Osa õnnetustest toimus ka lühikestel lõikudel, kuid enamasti paiknesid nad ristmike läheduses ja seetõttu võis nad liigitada ristmikuõnnetuste alla.

Lõpliku andmebaasi nädisest on eemaldatud osa liiklusloenduse kihi algandmestikust, mida käesolevas töös vaja ei läinud (lisa 1).

Statistiliste tulemuste leidmiseks kasutati Statistica programmi ning leiti seosed SI ja õnnetuste vahel.

## 4 Tulemused ja arutelu

### 4.1 Teede geomeetria

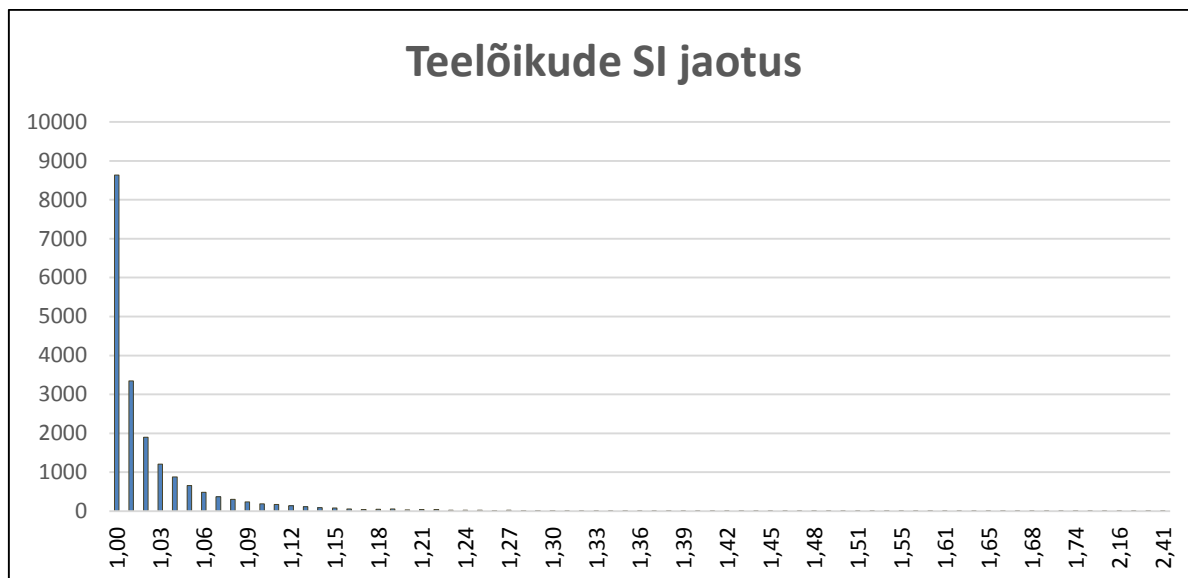
Segmentide SI väärtused jäid vahemikku 1,0 – 10,13. Segmendi suurim SI väärtus (10,13) oli erandlikult suur (joonis 11), kuna suuruselt järgmine väärtus oli 2,4. Selle lõigu SI oli oluliselt suurem kui teiste lõikude väärtus sellepärast, et lõigu algus- ja lõpp-punkt paiknevad peaaegu paralleelselt, mis tingib selle, et lühim tee kahe punkti vahel on minimaalne. Selline punktide paigutus on juhuslik ning tuleneb ArcMapi töövahendist, mida kasutati punktide genereerimisel. Kui punktid oleksid paigutunud teisiti (joonis 11), siis oleks tekkinud kaks keskpärase väärtusega lõiku. Erandlikult suure väärtusega lõik otsustati uurimusest välja jätta.



**Joonis 11.** Teelõik SI väärtusega 10,13 vasakul ning teine võimalus punktide paigutuseks paremal.

Ilma väärtuseta 10,13 oli lõikude mediaanväärtuseks 1,01. Kokku oli 73 erinevat SI väärtust. 17341st lõigust 49,8% olid sirged ehk nende SI oli 1,00. Väga vähe oli lõike, mille SI väärtus oleks 1,15st suurem (joonis 12).





**Joonis 12.** Teelõikude jaotumine SI järgi.

Paremaks kirjeldamiseks jagati teelõigud sinusoidsuse indeksi alusel kolme klassi Rautela & Panti (2007) töö näitel (vt. ptk 1.2). Klassid iseloomustasid segmente kui väikese, mõõduka ja suure kurvilisusega. Rühmade eesmärk on kirjeldada, millised SI väärtused on segmentidel ning kui palju on vastavate väärtustega lõike.

64% segmentidest olid sirged või väikese kurvilisusega ning nendel lõikudel toimus 75% õnnetustest (tabel 5). Suure kurvilisusega lõike oli kõige vähem ning nendel toimus ka kõige vähem õnnetusi. Ühe lõigu kohta oli õnnetuste arv suurim väikese kurvilisusega ning väikseim suurima kurvilisusega segmentidel. Vastavalt 0,90 ja 0,44 õnnetust lõigu kohta. Antud juhul on tegu normeerimata tulemustega.

**Tabel 5.** Kurvilisuse klassid SI väärtuse järgi.

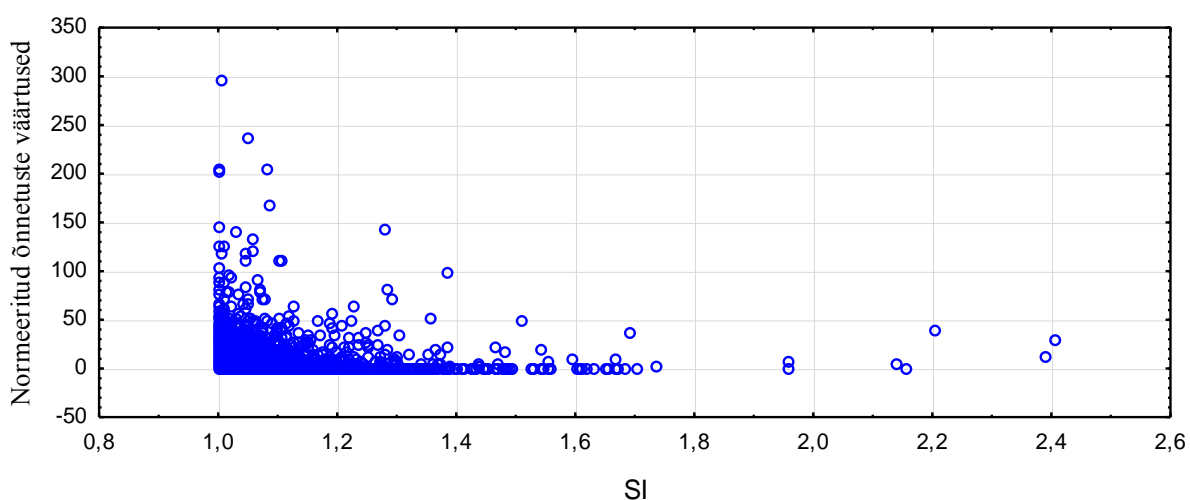
Kurvilisuse kirjeldus	Alumine piir	Ülemine piir	Lõikude arv	Osakaal (%)	Õnnetuste arv	Õnnetuste osakaal (%)
Väike	1,00	1,20	11055	64	9993	75
Mõõdukas	>1,20	1,70	4166	24	2335	18
Suur	>1,70	...	2119	12	942	7

## 4.2 Seosed SI ja liiklusõnnetuste vahel

SI ja kõigi õnnetuste vahel on väga nõrk negatiivne seos (tabel 6, joonis 13), kuid seos on statistiliselt usaldusväärne, sest õnnetusi on palju ning tegu on tohutu punktipilvega. Negatiivne seos tähendab, et kurvistel lõikudel on õnnetuse tõenäosus väiksem kui sirgetel lõikudel. Õnnetuste arvu normeerimisel liikluskooormuse ja lõigu pikkusega seos küll nõrgeneb, kuid jääb endiselt negatiivseks ja usaldusväärseks.

**Tabel 6.** Seosed SI ja kõigi õnnetuste vahel. \* - statistiliselt usaldusväärne seos.

	SI
Õnnetuste arv lõigul	-0,122*
Õnnetused norm. koormusega	-0,041*
Õnnetused norm. koormuse ja pikkusega	-0,053*



**Joonis 13.** SI ja kõigi õnnetuste graafik.

Negatiivne seos SI ja liiklusõnnetuste vahel ühtib Haynesi et al. (2007, 2008), Jonesi et al. (2008, 2011) ning Wangi et al. (2009) tulemustega, kus teede looklevuse suurenemine vähendab õnnetuste toimumise tõenäosust. Sirgetel teedel toimub rohkem õnnetusi kui kurvistel (Haynes et al. 2007). Geomeetriliselt keerukamad teelõigud võivad olla ohutumad selle tõttu, et üksluised sirged teed põhjustavad unisust ning tähelepanu võib hajuda (vt. ptk 1.3). Vahelduv maastikupilt vähendab unisust ja suurendab keskendumisvõimet. Ootamatud järsud kurvid võivad olla ohtlikud, kuid samas on kurvistel teedel suurem tõenäosus, et juht arvestab tee edaspidise käänulise trajektooriga rohkem ja kohandab oma sõiduvõtteid ettevaatlikumaks ehk vähendab sõiduki kiirust, suurendab valvelolekut ning võtab vastu ratsionaalsemaid otsuseid sõiduki juhtimise osas.

### 4.3 Seosed SI ja hukkunutega õnnetuste vahel

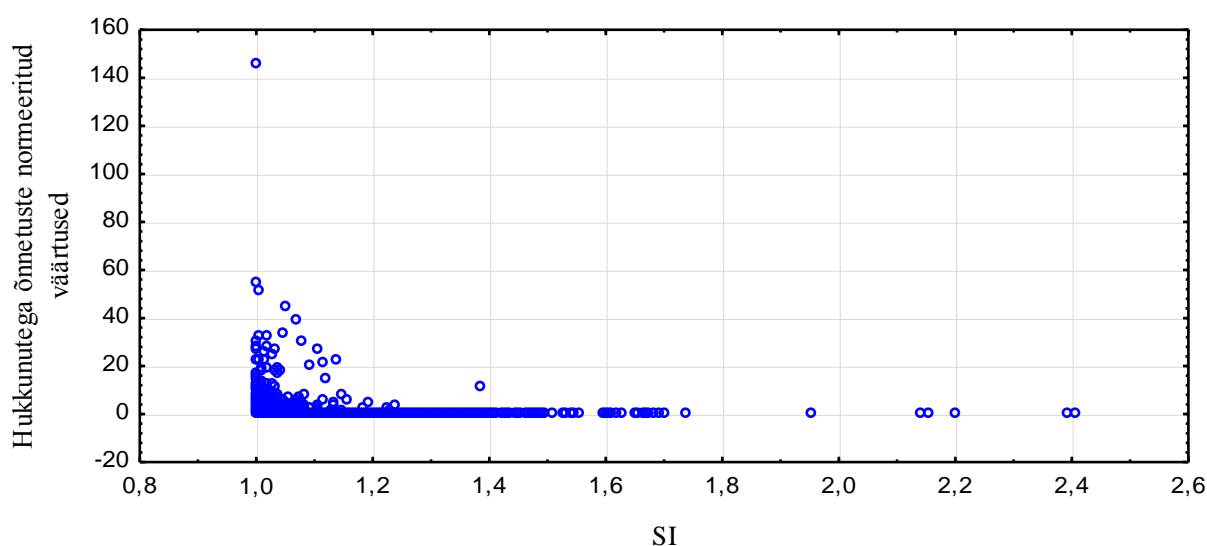
SI ja hukkunutega õnnetuste vahel on samuti väga nõrk negatiivne seos (tabel 7, joonis 14), mis tähendab, et SI suurenedes väheneb hukkunutega õnnetuse tõenäosus ja vastupidi. Hukkunutega õnnetuste normeerimisel jääb seos endiselt negatiivseks ning väga nõrgaks, kuid endiselt statistiliselt usaldusväärseks.

**Tabel 7.** Seosed SI ja hukkunutega õnnetuste vahel. \* - statistiliselt usaldusväärne seos.

	SI
Õnnetused hukkunutega	-0,087*
Õnnetused hukkunutega norm. koormusega	-0,084*
Õnnetused hukkunutega norm. koormuse ja pikkusega	-0,085*

Kuna seos kõigi õnnetuste ja hukkunutega õnnetuste vahel on sarnane, siis on ka põhjendused samad (vt. ptk 4.2). Kui tegu on liiklusmärgiga märgistatud ohtliku kurviga, siis peaks juht vähendama sõiduki kiirust. Valede sõiduvõtete tõttu võib õnnetus küll juhtuda, kuid väiksema kiiruse tõttu ei ole tagajärjed nii fataalsed kui suurte kiiruste puhul, kus sõidukile ja inimestele mõjuvad füüsilised jõud on suuremad. Kurvilistel teedel on hukkunutega õnnetuste tõenäosus väiksem kui sirgetel teedel, kus kiirused on suuremad ning juhid unisemad ja vähem tähelepanelikud.

SI ja hukkunutega õnnetuste graafikult on näha (joonis 14), et näitajate vahel on kahanev eksponentsiaalne seos nagu ka kõigi õnnetuste graafikul.



**Joonis 14.** SI ja hukkunutega õnnetuste graafik.

#### 4.4 Seosed SI ja erinevat tüüpi õnnetuste vahel

Sõiduki teelt väljasõitudele ja vastutuleva sõidukiga kokkupõrgetele leiti sarnane seos nagu SI ja kõigi õnnetuste vahel (tabel 8 ja 9). Seoste graafikud kõigi seni nimetatud õnnetuste tüüpide kohta on sarnased ehk eksponentsiaalselt kahanevad.

**Tabel 8.** Seosed SI ja teelt väljasõitude vahel. \* - statistiliselt usaldusväärne seos.

	SI
Teelt väljasõidud	-0,043*
Teelt väljasõidud norm. koormusega	-0,019*
Teelt väljasõidud norm. koormuse ja pikkusega	-0,022*

**Tabel 9.** Seosed SI ja vastutuleva sõidukiga kokkupõrgete vahel. \* - statistiliselt usaldusväärne seos.

	SI
Kokkupõrge vastutuleva sõidukiga	-0,062*
Kokkupõrge vastutuleva sõidukiga norm. koormusega	-0,055*
Kokkupõrge vastutuleva sõidukiga norm. koormuse ja pikkusega	-0,055*

Kurvistel teedel on väiksem teelt väljasõidu ja vastutuleva sõidukiga kokkupõrke tõenäosus. Selline tulemus on vastuolus Elvik & Muskaugi (1994) väidetega, et peaaegu kõik õnnetused, mis toimuvad kurvides, on teelt väljasõidud või vastutuleva sõidukiga kokkupõrked (vt ptk 1.3). Võib arvata, et väheste kogemustega juht ei vähenda enne kurvi kiirust ning hindab oma sõiduvõimeid üle. Ta ei saa kurvi läbimisega hakkama ning sõidab teelt välja. Käesoleva töö tulemust, kus kurvilisus vähendab teelt väljasõidu tõenäosust, võib selgitada varasemalt välja toodud põhjendustega, kus maastikumuutused vähendavad unisust, juht vähendab enne kurvi sõidukiirust ning on tähelepanelikum (Haynes et al. 2008). Teisest küljest on ootamatud ja järsud märgistamata kurvid juhtidele väga ohtlikud, sest pikaajaliselt sirgel teel sõites väheneb juhi tähelepanelikkus (Elvik et al. 2009).

Sarnased tähelepanekud kehtivad ka vastutuleva sõidukiga kokkupõrgetele. Lisaks mõjutab seda tüüpi õnnetust piiratud nähtavus (Elvik et al. 2009). Ehitise, metsatuka või muude objektide poolt on kurvides nägemisväli piiratud ning juht ei tea, kas vastassuunavööndis on teisi liiklejaid või mitte. Arvates, et kedagi vastu ei tule, võib juht alustada möödasõitu tema ees olevast sõidukist. Tihti peale võidakse olukorda valesti hinnata ning tegelikkuses ilmub kurvist välja sõiduk ning möödasõitu tegijal ei ole võimalust oma sõiduritta tagasi reastuda.

Selline liiklusohhtlik olukord võib lõppeda õnnetusega. Samas on kogenud juhid ohtudest teadlikud ning valivad möödasõiduks hetke, mil nähtavus on hea.

Ainuke õnnetuse tüüp, millel ei olnud piisavalt usaldusväärset statistilist seost SI-ga, oli sõiduki ümberpaiskumine (tabel 10). Seose graafik on eelnevalt nimetatud õnnetuse tüüpide graafikutega sarnane.

**Tabel 10.** Seosed SI ja sõiduki ümberpaiskumise vahel. \* - statistiliselt usaldusväärne seos.

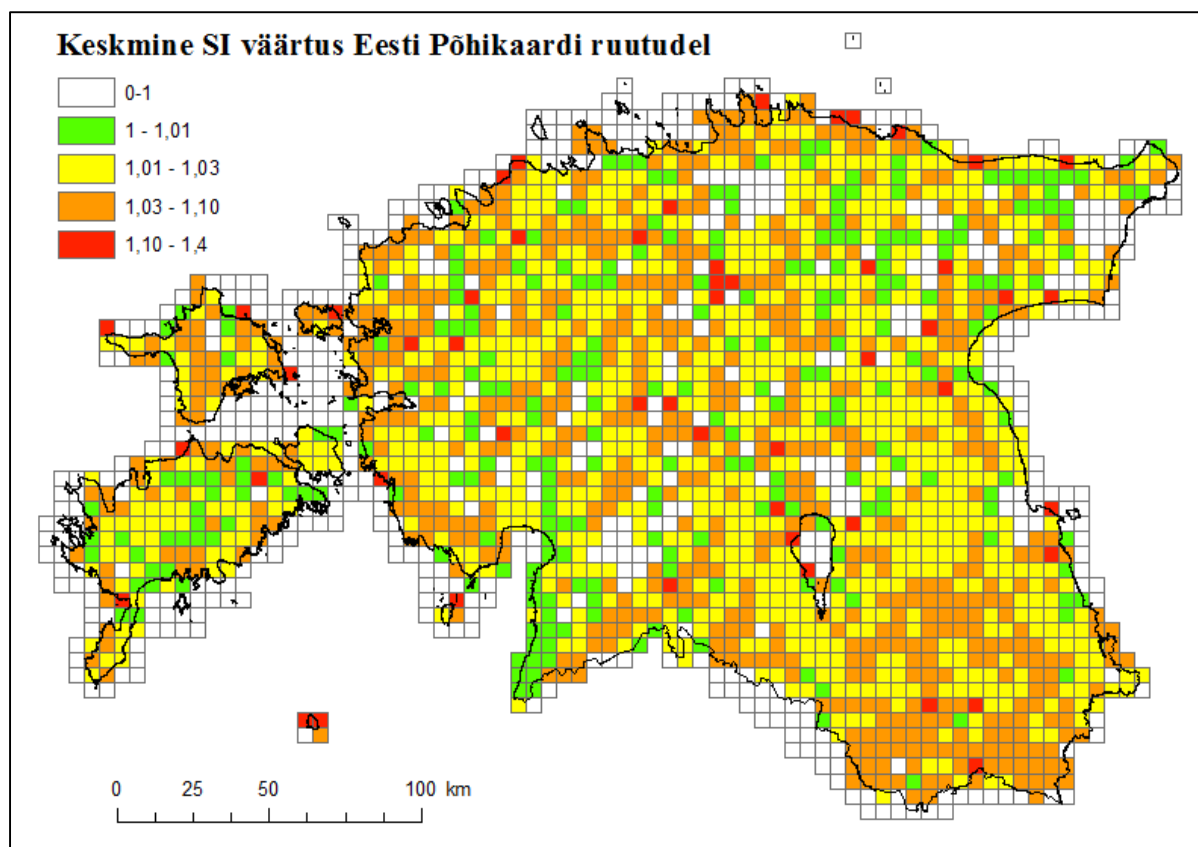
	SI
Sõiduki ümberpaiskumine	-0,0045
Sõiduki ümberpaiskumine norm. koormusega	-0,0041
Sõiduki ümberpaiskumine norm. koormuse ja pikkusega	-0,0041

Kuna SI ja sõiduki ümberpaiskumised on üksteisest sõltumatud väärtused, siis keeruline on selgitada, miks nende näitajate vahel seost ei ole.

#### 4.5 Kurviliste teede ruumiline paiknemine.

Segmentide ja nende SI väärtuse abil saab üldiselt iseloomustada Eesti maanteede kurvilisust. Selleks leiti iga Eesti Põhikaardi ruudu sisse jäävate teesegmentide keskmine kõverus (joonis 15). Üldjoontes paiknevad kurvilised teed juhuslikult üle kogu Eesti. Samas on näha mõningat kurviliste teede koondumist kõrgustikel ja nende äärealadel. Selline seaduspära võib tuleneda sellest, et nendes piirkondades on teede geomeetria keerukam looduslike tingimuste tõttu. Ebatasasel ja mitmete looduslike takistustega aladel on keeruline rajada sirget teed.

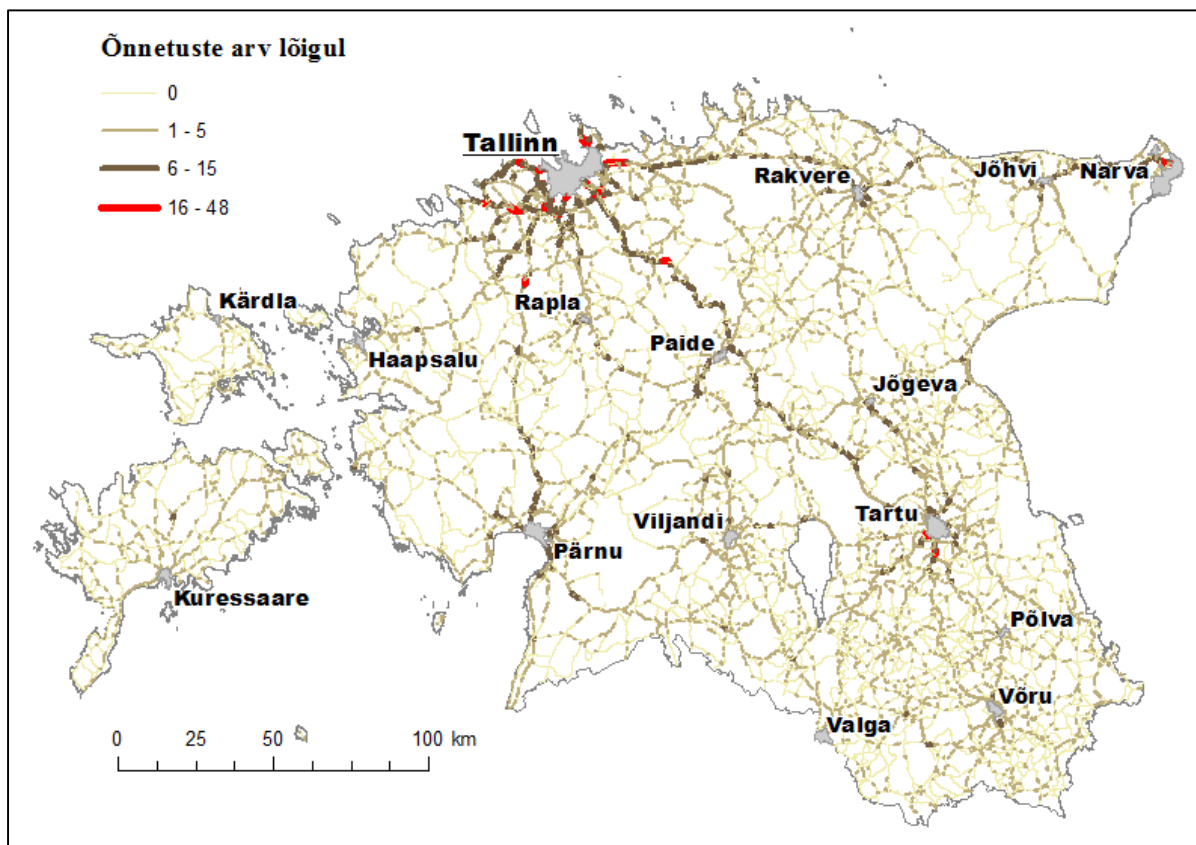
Vahe-Eesti piirkonnas on samuti palju kurvilisi teid. Põhjuseks võivad taas olla looduslikud tingimused, nagu metsad ja sood. Kurviliste teede koondumine on täheldatav ka rannikualadel, kus kõverus võib olla tingitud rannajoone geomeetriast.



**Joonis 15.** Teede keskmine kõverus Eesti Põhikaardi ruutude järgi.

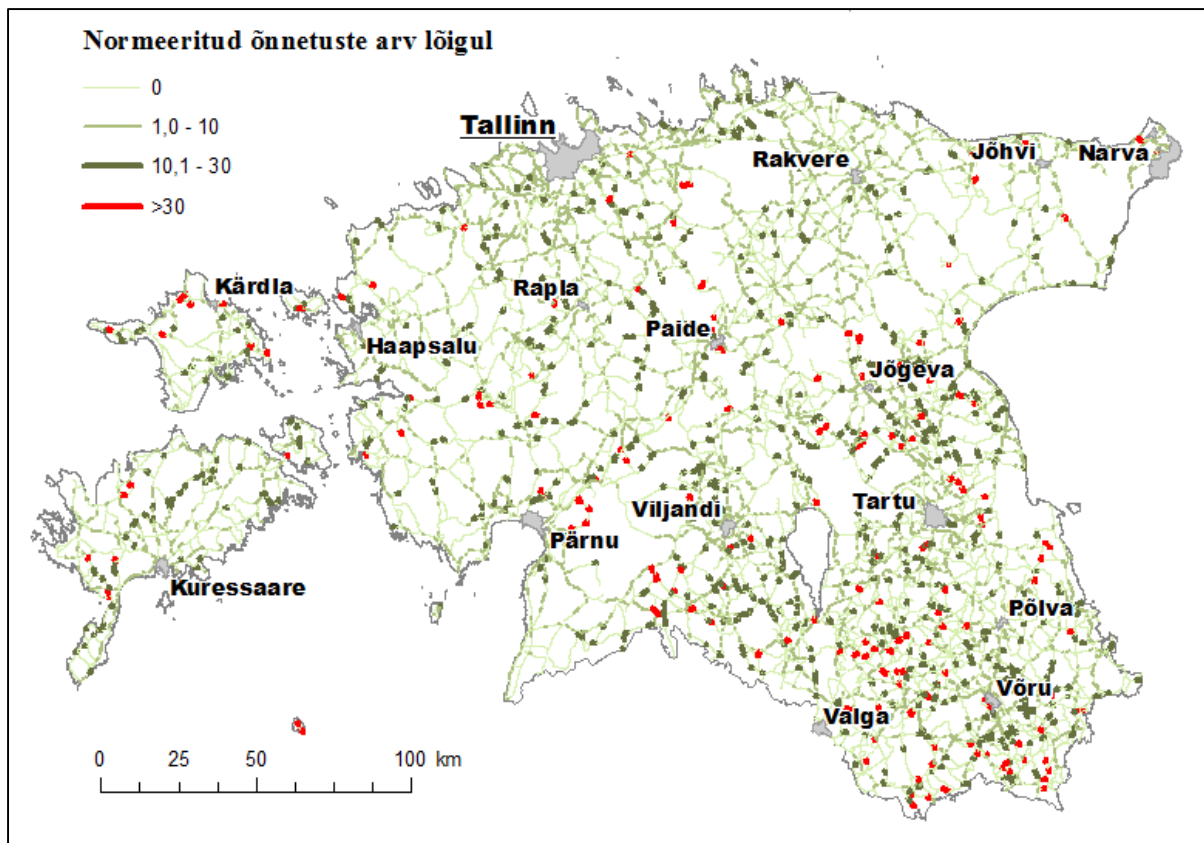
#### 4.6 Suurima õnnetuste arvuga teelõikude ruumiline paiknemine.

Töö käigus leiti igale segmentile sellel toimunud õnnetuste arv (joonis 16). Kõige rohkem liiklusintsidente toimub teedel, kus on suurem liiklustihedus. Antud juhul põhi- ja tugimaanteedel. Selleks, et selle mõju tasandada, normeeriti liiklusõnnetused ööpäevase keskmise liikluskõormusega ja korrutati 1000-ga (joonis 17).



**Joonis 16.** Õnnetuste arv segmentidel.

Üldiselt paiknevad õnnetustega teelõigud hajusalt üle kogu Eesti (joonis 17). Kõige suurema õnnetuste kaaluga teelõigud asuvad Kagu- ja Lõuna-Eesti kõrgustikel ja nende äärealadel, kus on kurvilisemad teelõigud. Samuti on palju suure kaaluga teelõike Vooremaal, kus teede geomeetria on Saadjärve voorestiku tõttu keerukas. Lisaks esineb suure kaaluga lõike rannikualadel. Kesk-Eestis on õnnetused jaotunud hajusalt ja hõredamalt kui Lõuna-Eestis. Kõige vähem on suure õnnetuste arvuga teelõike Kirde-, Edela- ja Lääne-Eestis.



**Joonis 17.** Liikluskooresse normeeritud õnnetuste arv lõigul.

Statistiliselt on liiklusõnnetuste ja kurvilisuse vahel väga nõrk negatiivne seos, kuid kurviliste ja suurima õnnetuste arvuga lõikude visuaalsel vaatlusel selgub, et kõige rohkem õnnetusi toimub piirkondades, kus teed on kurvilised ja keeruka geomeetriaga. Võimalik, et õnnetused sattusid küll kõrgustike piirkonda, kuid lõikudele, mille SI väärtus on võrreldes ümbritsevate segmentidega väike ja sellest tulenevalt on seos negatiivne. Statistiliselt on seos küll usaldusväärne, kuid väga nõrk, mistõttu saab öelda, et kurvilisus üksiktegurina ei ole määrav liiklusõnnetuste põhjusena.

Tegelikult on liiklusõnnetuste toimumine kompleksne nähtus ning sõltub mitmest tegurist korraga. Kõrgustikel võivad suurima õnnetuste arvuga lõigud olla sellepärast, et seal mõjutab liiklusohutust lisaks horisontaalsele kurvilisusele ka vertikaalne kurvilisus ja sellest tulenev piiratud nähtavus.



#### 4.7 Metoodilised probleemid

Töö algetapis tekkis probleem ArcMapi'ga, millel puuduvad sisseehitatud töövahendid kõikide joonte kindla vahemaa tagant korraga lõikamiseks. Programmis saab teid segmenteerida ühe lõigu haaval. Teelõikude suure arvu ja sellest tuleneva töömahu tõttu ei olnud otstarbekas ja ajaliselt võimalik seda teha.

Alternatiivina prooviti Mapinfo võimalusi, kus sai korraga kõik teed kilomeetristeks lõikudeks segmenteerida (kasutades *Split Line* töövahendit). Tulemuse lähemal uurimisel selgus, et kilomeetriste lõikude joonobjektid nihkusid teadmata põhjusel algsete liiklusloenduse joonobjektide suhtes. Nihe oli tuvastatav alates mõõtkavast 1:20 ning sellest väiksema mõõtkavaga ei olnud võimalik joonte nihkumist näha. Seetõttu ei olnud saadud kihti võimalik töös kasutada.

Punktide genereerimisel paigutusid osad punktid tihedamalt ja hõredamalt kui 1000 meetrit, mis põhjustas selle, et päris täpselt kilomeetriseid lõike käesoleva töö tulemusena ei tekkinud. Lisaks võisid punktid sattuda ka kurvidele ning lõigata kurvi mitmeks osaks. Nii võib tekkida olukord, kus suure õnnetuste arvuga segmendile sattus väike osa kurvist ja SI väärtus jäi väikeseks. Vastupidises olukorras võib väikese õnnetuste arvuga teelõigule sattuda suur osa kurvist ja tõsta SI väärtust. Sarnaselt võib punktide juhuslik paigutus pooleks lõigata väga suure õnnetuste arvuga lõigu. Selliste metoodikast tulenevate probleemide vältimiseks tuleks tulevikus leida suurima õnnetuste arvuga lõigud, uurida nende kurvilisust ning seejärel võrrelda seda ülejäänud lõikude geomeetriaga.

#### 4.8 Tähelepanekud ja mõtted edasiste uurimuste tegemiseks

Teadaolevalt on see esimene katsetus leida seoseid liiklusõnnetuste ja kurvilisuse vahel Eesti maanteedel. Statistiliselt leiti väga nõrk negatiivne, kuid usaldusväärne seos. Sinusoidsuse indeks on kõige lihtsam ja kiireim meetod selliste seoste leidmiseks kogu teedevõrgu kohta. SI abil saab leida suuremate kõverustega lõike, kuid mitte konkreetseid kurve.

Kurviliste ja suurima õnnetuste arvuga lõikude ruumilise paiknemise vaatlusel selgus, et sõiduki kohta kõige rohkem õnnetusi on kurviliste teedega piirkondades. See on aga vastuolus leitud seosega, kus kurvilisuse suurenedes liiklusõnnetuse tõenäosus väheneb. Sellel võib olla mitu põhjust. Ruumilist paiknemist vaadeldi suurima õnnetuste arvuga lõikudel, kuid väga palju õnnetusi on põhi- ja tugimaanteedel, mis on enamjaolt sirged, kuid suure liikluskoormuse tõttu jäi nende liiklusõnnetuste normeeritud väärtus tagasihoidlikuks ning nad ei joonistu kaardil

välja (joonis 17). Samas statistilises analüüsis jäi nii liiklussagedusega normeeritud kui ka normeerimata andmetega seose iseloom samaks.

Liiklusõnnetuste toimumist mõjutavad väga paljud tegurid - inimefaktorid, ilmastikuolud, kella- ja aasta-aeg ning teised tee geomeetrilised parameetrid - ja tee kurvilisus on ainult üks aspekt, mis tõenäoliselt ei ole väga oluline. Seetõttu olid ka leitud seosed väga nõrgad. Geomeetriliste parameetrite hulka kuuluvad lisaks horisontaalsetele kurvidele ka vertikaalsed kurvid, sõiduradade arv, tee serva laius (Mohammed 2013). Eelkõige mõjutavad nimetatud tegurid inimest, kes kohandab nende järgi oma sõiduvõtteid. Halvad ilmastikuolud vähendavad nähtavust ning põhjustavad tee libedust. Kellaajast sõltub, millise nurga all paistab päike, mis võib pimestada juhti ja hajutada tähelepanu.

Kurvilisuse mõju detailsemal uurimisel tuleks välja selgitada, milline mõju on lauetel ja järskudel kurvidel. Kuidas mõjutab kurvide arv liiklusohutust ja juhi käitumist liikluses? Kas üksikud järsud kurvid sirgel teel on kõige ohtlikumad? Andmed kiiruse kohta on kurvilisuse uurimisel tähtsal kohal. Kasulik oleks teada, millise kiirusega läbitakse teatud raadiusega kurve ning milline on nendes kurvides maksimaalne lubatud sõidukiirus.

## Kokkuvõte

Maaailmas hukkub liiklusõnnetustes igal aastal üle miljoni inimese ja kümned miljonid saavad tõsiseid vigastusi (Peden 2005). Turvalise ja sujuva liikluse tagamine on keeruline ning sõltub paljudest teguritest. Eelkõige vastutab liiklusohutuse eest sõiduki juht, kes valib oludele vastava sõidukiiruse ning järgib liiklemisel liikluseeskirja. Lisaks juhile mõjutavad oluliselt liiklusohutust ka tee geomeetrilised parameetrid, millest käesolevas töös on uuritud horisontaalset kurvilisust.

Kurvides käitub sõiduk teistmoodi kui sirgel teel sõites. Eestis ei ole teadaolevalt tehtud uurimusi selle kohta, kuidas mõjutavad kurvid liiklusohutust kohalikel maanteedel. Ei ole teada, kas õnnetusi toimub rohkem kurvistel või sirgetel teedel ning mis on selle põhjuseks.

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada Eesti maantee kurvide seos liiklusõnnetustega. Selleks kasutati Maanteeameti projekti „Tark Tee“ andmeid ning sinusoidsuse indeksit (SI), mis on lihtne ning üldistav kurvilisust iseloomustav suurus. SI arvutati välja kilomeetriste lõikude kohta. Seosed SI-ga leiti kõikidele õnnetustele ning eraldi erinevat tüüpi õnnetustele, milleks olid: hukkunutega õnnetus, vastutuleva sõidukiga kokkupõrge, sõiduki ümberpaiskumine ja teelt väljasõit.

Kurvilisuse ja kõigi õnnetuste vahel leiti väga nõrk negatiivne seos, mis tähendab, et kurvisel teel on veidi väiksem õnnetuse tõenäosus kui sirgel teel. Sarnane, väga nõrk negatiivne, seos leiti ka teiste õnnetuse tüüpide ja kurvilisuse vahel, välja arvatud sõiduki ümberpaiskumine, mille seos SI-ga ei olnud statistiliselt usaldusväärne. Väide, et sirgetel teedel on suurem liiklusõnnetuse tõenäosus, leidis kinnitust.

Käesoleva töö metoodika rakendamise tulemusena selgusid ka piirkonnad, kus on kõige kurvilisemad ja suurima õnnetuste arvuga teelõigud. Kõige rohkem kurvilisi ja ohtlikke teelõike on kõrgustikel, rannikualadel ja Vahe-Eesti piirkonnas.

Selles töös osutus metoodiliselt kõige keerukamaks pealtnäha lihtsaim metoodiline osa, milleks oli teede segmenteerimine kilomeetristeks lõikudeks. ArcMapis puuduvad sisseehitatud töövahendid kõikide joonte kindla vahemaa tagant korraga lõikamiseks. Seda on võimalik teha manuaalselt, kuid teedevõrgu mahukuse tõttu ei olnud see otstarbekas. Huvitav on ka see, et Mapinfo lubab sellist päringut kõigi joonte jaoks korraga teha, kuid teadmata põhjusel lähevad jooned algsete objektidega võrreldes mõnevõrra nihkesse.

Leitud nõrk seos kurvilisuse ja liiklusõnnetuste vahel viitab sellele, et kurvilisus üksiktegurina ei ole eraldi määrav faktor. Vajalik oleks uurida, millist mõju avaldavad konkreetsed järsud ja lauged kurvid, nende arv ja tihedus teel. Liiklusõnnetusi põhjustavad mitu tegurit korraga ning arvestades ainult kurvilisust, ei saa teha absoluutselt õiget järeldust. Vaja on arvestada paljusid teisi liiklusohutust mõjutavaid tegureid.

## Summary

### *The relationship between horizontal curvature and traffic accidents*

Anton Štšeglakov

Millions of traffic accidents occur worldwide every year. As a result, a lot of people lose their lives and get serious injuries. To reduce the number of fatalities and serious injuries many countries around the world are trying to improve traffic safety by using different improvement measures. Together with many other causes of traffic accidents, road curvature could be an important factor and should be examined comprehensively.

Vehicle behaves differently in curves compared to behaviour on straight road segments. Confessedly there is no information about relationship between horizontal curvature and traffic accidents in Estonia. Latest studies in different countries have shown that accident probability on straight roads is bigger. Purpose of this study was to find out if straight roads are more dangerous than curvy roads in Estonia.

This study used a simple methodology to find out the relationship between horizontal curvature and traffic accidents. At first, roads were segmented into smaller parts with length of one kilometre. For each segment the sinuosity index (SI) was calculated. It is the ratio of the length of a given road stretch and the aerial distance between the end-points of the same road stretch (Rautela & Pant 2007). This measure of curvature was used because of its simplicity and because there are no other methods to define curvature in a fast way for whole road network. The number of occurred accidents on every segment was calculated and the result was divided by traffic flow. In addition to all accidents, number of fatal and certain type of accidents was also calculated for every segment. Certain types of accidents included in this study were road departure, head-on collisions and rollovers. At last, the correlation between SI and the number of accidents was calculated using Statistica software.

This study found a negative relationship between curvature and all types of accidents except for rollovers. The correlation between two variables was very weak but statistically reliable. This means that on curvy roads the probability of an accident is smaller than on straight roads. Such weak relationship indicates that cause of traffic accidents is more complex. Curvature as independent and only factor does not give strong results. For better results other factors which cause traffic accidents should also be taken into consideration together with measures of curvature.

## **Tänuavaldused**

Tahaksin tänada oma juhendajaid Evelyn Uuemaad ja Raivo Aunapit, kes abistasid mind töö tegemisel ja metoodiliste probleemide lahendamisel. Samuti tahaksin tänada Eerika Naisonit, kes abistas mind töö keelelise poole korrigeerimisel.

## **Kasutatud kirjanduse loetelu**

### **a. Ajakirjad ja muud perioodilised väljaanded**

Antonson, H., Mårdh, S., Wiklund, M., Blomqvist, G. (2009). Effect of surrounding landscape on driving behaviour: A driving simulator study. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 493–502.

Haynes, R., Jones, A., Kennedy, V., Harvey, I., Jewell, T. (2007). District variations in road curvature in England and Wales and their association with road-traffic crashes. *Environment and Planning, A* 39(5), 1222 – 1237.

Haynes, R., Lake, I., Kinghamb, S., Sabel, C., Pearce, J., Barnett R. (2008). The influence of road curvature on fatal crashes in New Zealand. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 843–850.

Jones A. P., Haynes R, Harvey I, Jewell T. (2008). Geographical variations in mortality and morbidity from road traffic accidents in England and Wales. *Health & Place* Volume 14, Issue 3, 519–535

Jones, A. P., Haynes, R., Harvey, I., Jewell, T. (2011). Road traffic crashes and the protective effect of road curvature over small areas. *Health & Place*, 18, 315 – 320.

Mohammed, H. A. (2013). The influence of road geometric design elements on highway safety. *International Journal of Civil Engineering & Technology*, 4(4), 146 – 162.

O'Connor, D. (2011). A network scan of horizontal road geometry. *National Roads Authority*

Peden, M. (2005). Global collaboration on road traffic injury prevention. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 12(2), 85 – 91.

Rautela, P., Pant, S. S. (2007). New methodology for demarcating high road accident risk-prone stretches in mountain roads. *Current Science*, Vol 92, No. 8, 1157 – 1161

Shankar, V., Mannering, F., Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention*, 27, 371 – 389.

Shankar, V., Mannering, F., Barfield, W. (1996). Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis and Prevention*, 28, 391 – 401.

Thiffault, P., Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 35, Issue 3, 381 – 391.

Wang, C., Quddus, M. A., Ison, S. (2009). The effects of area-wide road speed and curvature on traffic casualties in England. *Journal of Transport Geography*, Volume 17, Issue 5, 385 – 395.

Wang, C., Quddus, M. A., and Ison, S. G. (2013). The effect of traffic and road characteristics on road safety: a review and future research direction. *Safety Science*, 57(0), 264 – 275.

Waters, P., O'Mahony, M. (2007). The relationship between geometric design consistency and safety on rural single carriageways. Association for European Transport, 1 – 15.

## **b. Raamatud ja muud monograafiad**

Kaasik, Ü. (1982). Matemaatikaleksikon. Kirjastus „Valgus“, Tallinn, 208 lk.

## **c. Kogumikud ja toimetatud väljaanded**

Ahas, R., Silm, S., Leetmaa, K., Tammaru, T., Saluveer, E., Järv, O., Aasa, A., Tiru, M. (2010). „Regionaalne pendelrändeuuring“ (Tartu Ülikooli Geograafia Osakond, tellija: Siseministeerium).

Elvik, R., Muskaug, R. (1994). Konsekvensanalyser og trafikksikkerhet. Metode for beregning av konsekvenser for trafikksikkerheten av tiltak på vegnettet. TØI-rapport 281. Transportøkonomisk institutt, Oslo.

Ikeda, T., Mori, N. (2005). Analysis of correlation between roadway alignment and traffic accidents. Third International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, 2005.

Elvik, R., Høye A, Vaa, T; Sørensen, M. (2009). Horizontal curve treatments. Handbook of Road Safety Measures (2nd Edition), 268. Emerald Group Publishing Limited.

Walmsley, D.A., Summersgill, I. (1998). The Relationship Between Road Layout and Accidents on Modern Trunk Roads. Transport Research Laboratory, Crowthorne, Berks.

## **d. Internetimaterjalid**

Bureau of Local Roads and Streets Manual. (2006). Chapter Twenty-eight SIGHT DISTANCE. <http://www.dot.il.gov/blr/manuals/blrmanual.html> (viimati külastatud 10.04.2014).

Eurostati statistika andmebaas  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search\\_database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database) (viimati külastatud 13.10.2013).

Ingermaa, J. (2014). Elektrooniline kirjavahetus Jaan Ingermaaga, Maanteeameti Teedevõrgu osakonna juhatajaga, 27.02.2014.

Maailma Terviseorganisatsioon (WHO).  
<http://www.who.int/en/> (viimati külastatud 15.03.2014).

Maanteeamet. (2013). Maanteeameti liiklusõnnetuste statistika andmebaas.  
<http://www.mnt.ee/index.php?id=10798> (viimati külastatud 13.10.2013).

Shahin, A., Mansour, PE. (2011). Horizontal, Spiral and Vertical Curves.  
[http://www.passpe.com/materials\\_info/Sample%20Web%20Surveying-Ch10-1St%20Ed-SN.pdf](http://www.passpe.com/materials_info/Sample%20Web%20Surveying-Ch10-1St%20Ed-SN.pdf) (viimati külastatud 26.03.2014).



## Lisad

### Lisa 1. Teelõikude andmete näide.

<b>FID</b>	<b>Tee nr</b>	<b>Tee nimetus</b>	<b>Aasta keskmine liikluskoormus</b>	<b>Loenduse aasta</b>	<b>Start X</b>	<b>Start Y</b>	<b>END X</b>
183	37	Jõgeva - Põltsamaa	1384	2011	626841	6511333	626335
361	5	Pärnu - Rakvere - Sõmeru	1079	2011	570739	6504632	571501
364	5	Pärnu - Rakvere - Sõmeru	1079	2011	568880	6503864	569823
490	6	Valga - Uulu	1237	2011	622015	6418135	621695
577	92	Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme	2844	2011	645564	6469874	644565

<b>END Y</b>	<b>D</b>	<b>d</b>	<b>SI</b>	<b>Õnnetuste arv lõigul</b>	<b>Õnnetuste arv normeeritud koormusega</b>	<b>Õnnetuste arv normeeritud koormuse ja pikkusega</b>
6510475	1001,81	995,84	1,006	1	0,72	0,72
6505297	1015,42	1011,23	1,004	1	0,93	0,91
6504197	1002,87	999,83	1,003	1	0,93	0,92
6419082	1000,52	1000,50	1,000	5	4,04	4,04
6469946	1001,80	1001,51	1,000	2	0,70	0,70

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Anton Štšeglakov (sünniaeg 01.03.1992),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
“Maanteede kurvilisuse ja liiklusõnnetuste esinemissageduse vahelised seosed”,  
mille juhendajad on Evelyn Uuemaa ja Raivo Aunap,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **19.05.2014**